

# إعداد المياه للشرب والإستخدام المنزلى

مهندس إستشارى  
محمد أحمد السيد خليل

**ISO**  
**9002**

Certificate No. 82210  
03 / 05 / 2001



المكتبة الأكاديمية  
شركة مساهمة مصرية



# **إعداد المياه**

## **للشرب والإستخدام المنزلي**



# إعداد المياه للشرب والإستخدام المنزلي

مهندس إستشاري

محمد أحمد السيد خليل



الناشر

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٣

## حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٣م - ١٤٢٣هـ

حقوق الطبع والنشر © جميع الحقوق محفوظة للناسر :

### المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصر والمذوع ٩,٩٧٢,٨٠٠ جنيه مصري

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣١٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

لا يجوز استساخ أى جزء من هذا الكتاب بأى طريقة  
كانت إلا بعد الحصول على تصريح كتابى من الناسر .

## تقديم الكتاب ومحتواه

لقد كان الدافع إلى تناول موضوع إنتاج المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي هو حاجة المكتبة العربية لمزيد من هذه الإصدارات لتواكب التقنيات الحديثة في مجال التصميم والصيانة والتشغيل، وبما يفيد العاملين في هذا المجال وكذلك الدارسين والباحثين. وقد تم اعداد المرجع في سبعة أبواب.

**الباب الأول :-** المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي.

**الباب الثاني :-** تنقية المياه للشرب.

**الباب الثالث :-** طرق الترسيب للمواد الصلبة العالقة.

**الباب الرابع :-** التخلص من المواد العالقة بالترشيح.

**الباب الخامس :-** المعالجات الخاصة.

**الباب السادس :-** تطهير المياه.

**الباب السابع :-** تحلية المياه المالحة.

### ١ - في الباب الأول

تم مناقشة المعايير التي أعدتها وزارة الصحة ووردت في قانون البيئة ١٩٩٤/٤ بخصوص الحدود القصوى للملوثات في المياه لتكون صالحة للشرب والاستخدام المنزلي ومقارنتها بالدلائل التي اعتمدها منظمة الصحة العالمية. حيث تم استعراض الخواص الطبيعية ومنها اللون والطعم والرائحة، والعكارة والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة في القسم الأول.

وفى القسم الثاني: تم مناقشة المواد الغير عضوية في مياه الشرب ذات التأثير على الاستساغة والاستخدام المنزلي والتي ليس لها تأثير على الصحة العامة وشملت الأملاح الكلية المذابة، الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك، العسر الكلى، الكبريتات، الكلوريدات، الصوديوم، الألومنيوم.

وفى القسم الثالث: تم مناقشة المواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة والتي شملت الرصاص، الزرنيخ، السيانيد، الكاديوم، السيلينيوم، الزئبق، الكروم، النترات، النيتريت، الفلوريدات، الفضة، النيكل، البريليوم، الأمستوس.

وفى القسم الرابع: نوقشت للمواد العضوية ذات التأثير على الصحة العامة وهى مبيدات الهوام، البنزينات الكلورة وكيمويات أخرى، الميثانات الكلورة، أحماض الخليك المهالجه.

وفى القسم الخامس: تناول الإشعاعات النووية فى مصادر المياه السطحية او الجوفية.

وفى القسم السادس: الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة. حيث تم استعراض مخاطرها على صحة الانسان بما تسببه من أمراض وبائية. ثم التعرف على انواعها والكشف عنها وحدودها القصوى فى مياه الشرب.

وعند مناقشة هذه الملوثات تم استعراض مدخولها اليومي من الهواء والغذاء ومياه الشرب والذى قدرت على اساسه الدلائل التى اعدها منظمة الصحة العالمية. كما تم مناقشة مصادر هذه الملوثات ووصولها الى المياه سواء لمصادر المياه او للمياه المعدة للشرب مما يتطلب الاشارة الى اهمية المحافظة على مصادر المياه السطحية والجوفية من التلوث وكذلك الحد من الملوثات فى شبكات الامداد لمياه الشرب والخزانات.

## ٢- الباب الثانى: تنقية المياه للشرب

فى القسم الاول:- تم استعراض تقنيات ازالة المواد العالقه من مياه المجارى العذبة حيث تم مناقشة انواع المآخذ وأهمية العناية بتصميمها للمحافظة على نوعية



المياه طبقاً للتغير في المنسوب أو التغيرات الموسمية في نوعية المياه مع الإشارة الى بعض انواع المآخذ. كما تم استعراض القواعد النظرية لترسيب المواد الصلبة العالقة طبقاً للحجم والكثافة النوعية ونوع المادة وذلك بالترسيب الحر. حيث برز اهمية اضافة كيماويات الترويب ومساعدات الترويب لاختصار زمن الترسيب من عدة ايام الى بضع ساعات لبعض المواد وخاصة للمواد الهلامية والتي لا ترسب اطلاقاً بالترسيب الحر بدون استخدام كيماويات ومساعدات الترويب وهي المسببة للون والعكارة.

وفي القسم الثاني:- تم استعراض الكيماويات المستخدمة في الترويب ومساعدات الترويب وشملت كبريتات الالومنيوم (الشبه) وكبريتات الحديدوز، املاح الحديد الأخرى، ألومينات الصوديوم، الجير المطفى وكذلك البلمرات المستخدمة كمساعدات الترويب. وهذا بالإضافة الى الإشارة لخصائص وضوابط استخدام كل من هذه الكيماويات بما يحقق الإزالة للعكارة وبما لا يضر بالصحة العامة، مع كيفية تعيين الجرعة المناسبة من اى من هذه المروبات لإزالة العكارة ثم اعطاء امثلة حسابية لتقدير حاجة المياه العكرة من هذه المروبات. مع الاخذ فى الاعتبار معرفة قلوية المياه الخام.

### ٣- الباب الثالث : طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة

القسم الأول:- تناول تجهيز كميات الخلط السريع والخلط البطئ، تجهيزات التغذية بكيماويات الترويب ثم طرق الخلط السريع والخلط البطئ لتكوين الزغبات القابلة للترسيب الحر. كما تم استعراض نماذج لأحواض الخلط البطئ وكيفية الخلط السريع بالطرق الهيدروليكية والميكانيكية والاستاتيكية.

وفي القسم الثاني:- نوقشت أحواض الترسيب وانواعها سواء المستطيلة او الدائرية وكفاءة الترسيب في احواض الترسيب وحسابات أبعاد حوض الترسيب طبقاً لتفافات المياه ومن واقع التحميل السطحي لكل نوع من أحواض الترسيب. كما تم مناقشة اختبارات الترسيب، والمداخل والمخارج لأحواض الترسيب وأثر

خواص المياه على تصميم أحواض الترسيب وكذلك أمثلة استرشادية لتصميم أحواض الترسيب.

وفي القسم الثالث:- تم تناول الترسيب بالأسطح المائية والأتاييب المائية وهى ضمن التقنيات الحديثة للترسيب هذا بالإضافة الى تناول الترسيب والحجز للمواد العالقة باستخدام المروقات ذات طبقة الروبة العالقة او السابحة وكذلك عمليات الترويق الخاصة باستخدام الهواء المضغوط. وتم استعراض رسومات وقواعد التصميم لهذه التقنيات.

#### ٤- الباب الرابع : التخلص من المواد العالقة بالترشيح

القسم الاول:- للترشيح الرملي البطيء، نظرية ومبادئ التشغيل للمرشح الرملي البطيء وحالات استخدامه وكفائه فى ازالة الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة بالإضافة الى الاعتبارات والقواعد التصميمية للمرشح الرملي البطيء.

القسم الثاني:- تناول الترشيح الرملي السريع. حيث تم استعراض استعملاته وأنواعه وكذلك نظرية العمل للمرشح الرملي السريع ونظام التشغيل والتحكم بالإضافة الى الاعتبارات التصميمية وكيفية تنظيم الغسيل العكسى. ثم المخطط العام لمحطة تصميم تنقية مياه الشرب باستخدام المرشح الرملي السريع.

وفي القسم الثالث:- تم استعراض مواد الترشيح وتعريفها مثل القطر المؤثر ومعامل التجانس وكيفية عمل الاختبار للرمل والزلط طبقا للمواصفات. وأخيرا كيفية وضع وإنشاء الوسط للترشيح.

#### ٥ - الباب الخامس : المعالجات الخاصة

فى القسم الأول :- ازالة عسر المياه بالترسيب الكيماوى باستخدام لبن الجير او الصودا آش ولبن الجير، وحالات اسخدام المروبات وكلوريدات الكالسيوم فى ازالة العسر للمياه او تخفيضه ليصل الى المعايير المقررة فى مياه الشرب هى حوالى من ٨٥ - ١٢٠ مل جرام / لتر مقيم ككربونات الكالسيوم.

وفى القسم لثانى:- تم مناقشة ازالة العسر بالتبادل الايونى وكذلك ازالة الاملاح بالتبادل الايونى وازالة القلوية بالتبادل الأيونى.

وفى القسم الثالث:- التهوية، نظرية لنقل الغازات وذلك بهدف توضيح اثر التهوية فى إذابة اكسجين الهواء الجوى فى الماء لتحسين المذاق وخاصة بالنسبة للمياه الجوفية وكذلك التخلص من الغازات المذابة المسببة للرائحة والمذاق مثل غاز كبريتيد الهيدروجين وثانى اكسيد الكربون. كما تم استعراض تجهيزات التهوية ومبادئ التصميم للأنواع المختلفة ومنها التهوية بالرش او الترذير، التهوية بسقاط المياه، التهوية بفقاعات الهواء، للتهوية بالهواء المضغوط نشر الهواء بالاضافة الى الضوابط وحدود استخدامات التهوية فى معالجة المياه.

وفى القسم الرابع:- ازالة الحديد والمنجيز من مياه الشرب والاستخدام المنزل حيث تم تناول الأثر السلبى لهذه المواد وحدودها القصوى وكذلك أثرها على المذاق والشكل العام لمياه للشرب ولتعرف على حالات وجود الحديد والمنجيز فى مصادر المياه السطحية والجوفية فى الشكل المذاب والغير مذاب وديناميكا التفاعل لاملاح الحديد والمنجيز المذابة مع أكسجين الهواء الجوى ولتتحول الى المركب المذاب ليسهل ترسيبه وترشيحه وعزلة وكذلك استخدام الهواء الجوى والمؤكسدات الأخرى مثل الكلور وبرمنجنات البوتاسيوم ثم القواعد التصميمية لوحداث ازالة الحديد والمنجيز من مياه الشرب و الاستخدام للمنزلى.

وفى القسم الخامس: التخلص من المواد المشعة والكيمائويه ذات التركيز المنخفض جدا، حيث تم استعراض تقنيات ازالة المواد المشعة والكيمائية وكذلك تقنيات المعالجة المختلفة لأزالة الأنواع المختلفة من الملوثات. وازالة التركيزات المنخفضه جدا من المواد العضويه والغير عضويه.

## ٦- الباب السادس : تطهير المياه

ويشمل تطهير المياه قتل الكائنات الحيه الدقيقه باستخدام كيمائويات التطهير مثل الكلور والأوزون والمؤكسدات الأخرى والأشعة فوق البنفسجية وإضافة الفلور الى الماء.

وفى القسم الأول:- تم تناول الكلور كمطهر رئيسى وذلك باستعراض خصائصه الطبيعية والكيمائية ومركبات الكلور فى الماء والأثر البيولوجى والكيمائى للكلور فى الماء وأماكن ونقاط استخدام وحقن الكلور. ومركبات الكلور المختلفة وكفاءتها فى التطهير. وتفاعلات الكلور ومركبات الكلور مع المواد المذابة فى الماء للعضوية وغير عضوية.

وفى القسم الثانى:- تم التعرف على خصائص الأوزون وإنتاجه وإيجابياته فى القدرة العالية للأكسدة والتطهير مقارنة بباقي المطهرات وكذلك سلبياته لعدم وجود متبقى بعد فترة من ٥-١٥ دقيقة بما لا يحقق التطهير للشبكة الحاملة لمياه الشرب ثم حالات اضافة الفلور للماء.

## ٧- الباب السابع : تحلية المياه المالحة

فى هذا الباب تم تناول تقنيات التحلية او ازالة الأملاح المذابة من المياه المالحة وهذه شملت التحلية باستخدام أغشية التناضح العكسى، الفصل الكيمائى الكهربى (الايكترودياليسيس) ثم الترشيح الفائق وتقطير المياه (التحلية الحرارية).  
فى القسم الاول :- التعاريف.

فى القسم الثانى :-التحلية بالتناضح العكسى حيث تم استعراض نظرية التناضح العكسى ومواد الاغشية المستخدمة واشكالها. والمعالجة للمياه الخام قبل التحلية وامكانيات المعالجة بالتناضح العكسى.

فى القسم الثالث:- تم استعراض التحلية بالتقطير او الفصل الكيمائى الكهربى (الايكترودياليسيس) E/D وكذلك طريقة عكس وتبديل الاقطاب ED/R. وخصائص الاغشية المستخدمة والاعتبارات التصميمية.

القسم الرابع:- الترشيح الفائق وانواع وحالات استخدام الاغشية فى الترشيح لازالة الملوثات طبقا لحجمها ووزنها الجزيئى وتكافؤها.

فى القسم الخامس:- شمل تحلية المياه بالتقطير (التحلية الحرارية) باستخدام المبخر السريع، المبخر متعدد التأثير، مبخر اعادة ضغط البخار، ازالة

لترسيبات، المعالجة النهائية للمياه المحلاة لتكون صالحة للشرب والاستخدام المنزلي.

بهذا يكون تم مناقشة جميع التقنيات الخاصة بمعالجة المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي من مختلف مصادر المياه السطحية العذبة والجوفية والمالحة وذلك سواء في مجال إزالة المواد العالقة والعكارة أو إزالة الملوثات من المواد المذابة أو الكائنات الحية الدقيقة. وذلك بالاستعانة بالإصدارات التي تنشرها الهيئات الدولية ذات الاهتمام بمياه الشرب ومنها اتحاد أعمال المياه الأمريكي (AWWA- American Water Works Association) ومنظمة الصحة العالمية والدوريات والمراجع التي اهتمت بنشر الحديث في تنقية المياه لأغراض الشرب سواء من المصادر السطحية أو الجوفية وكذلك المياه العذبة والمياه المالحة، بهدف زيادة القدرة للكودار المختلفة على الصيانة والتشغيل لكل من هذه التقنيات الحديثة والتفهم العميق لقواعدها العلمية والتطبيقية ولقد كان هذا هو الدافع إلى إعداد هذا المرجع.

و أرجو من الله العلي القدير أن يحقق ما نبيغه ،،،،

و الله الموفق،،،

المؤلف

مهندس إستشاري

محمد أحمد السيد خليل



## فهرست الموضوعات

| م | الموضوع   | رقم الصفحة |
|---|---|------------|
|   | مقدمة الكتاب : أثر المياه في حياة الإنسان   | ١٥         |
| ١ | الباب الأول : المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي   | ٢١         |
|   | أ- مقدمة  | ٢٣         |
|   | ب- القسم الأول : الخواص الطبيعية لمياه الشرب  | ٢٧         |
|   | ج- القسم الثاني : للمواد الغير عضوية في مياه الشرب ذات التأثير على الاستساغة أو الاستخدام المنزلي والتي لا تؤثر لها على الصحة العامة. | ٣٧         |
|   | د - القسم الثالث : للمواد الغير عضوية ذات الأثر على الصحة العامة  | ٥٣         |
|   | هـ- القسم الرابع: للمواد العضوية ذات الأثر على الصحة العامة   | ٧٩         |
|   | و- القسم الخامس: الإشعاعات النووية.   | ٩١         |
|   | ز- القسم السادس : الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة  | ٩٥         |
| ٢ | الباب الثاني :- تنقية المياه للشرب  | ١٠٧        |
|   | أ- مقدمة  | ١٠٩        |
|   | ب- القسم الأول : تقنيات إزالة المواد العالقة من مصادر المجارى المائية العذبة  | ١١٣        |
|   | ج- القسم الثاني: استخدام الكيماويات للتخلص من الأجسام العالقة   | ١٢٣        |
| ٣ | الباب الثالث :- طرق الترسيب للمواد الصلبة العالقة   | ١٤٣        |
|   | أ- القسم الأول : تجهيز الكيماويات - الخلط السريع - الخلط البطيء   | ١٤٧        |
|   | ب- القسم الثاني : لحواض الترسيب   | ١٦٣        |
|   | ج- القسم الثالث : الترسيب بالأمطح المائلة والترويق بالأجسام الصلبة العالقة  | ١٨١        |

| م | الموضوع  | رقم الصفحة |
|---|--|------------|
| ٤ | الباب الرابع :- التخلص من المواد العالقة بالترشيح                              | ٢٠٣        |
|   | أ- مقدمة   | ٢٠٥        |
|   | ب- القسم الأول : لترشيح الرمل البطيء   | ٢٠٧        |
|   | ج - القسم الثاني : لترشيح الرمل السريع   | ٢١٩        |
|   | هـ- القسم الثالث : مواد الترشيح  | ٢٣١        |
| ٥ | الباب الخامس :- المعالجات الخاصة   | ٢٤٥        |
|   | أ- القسم الأول : إزالة العسر   | ٢٤٧        |
|   | ب- القسم الثاني : للتبادل الأيوني  | ٢٥٥        |
|   | ج- القسم الثالث : التهوية  | ٢٦٧        |
|   | ٤- القسم الرابع : إزالة الحديد والمنجيز . . .                                  | ٢٨٥        |
|   | هـ- القسم الخامس : التخلص من المواد المشعة والكيميائية ذات التركيز المنخفض جدا | ٣١١        |
| ٦ | الباب السادس :- تطهير المياه   | ٣٢٧        |
|   | أ- القسم الأول :- الكلور   | ٣٣١        |
|   | ب- القسم الثاني :- الأوزون   | ٣٥٩        |
|   | ج- القسم الثالث :- مواد تطهير أخرى   | ٣٦٧        |
| ٧ | الباب السابع :- تحلية المياه المالحة   | ٣٧١        |
|   | أ- القسم الأول : تعاريف (تحلية للمياه بمعايير الغشاء)                          | ٣٧٣        |
|   | ب- القسم الثاني : للتناضح العكسي ( RO )  | ٣٧٩        |
|   | ج- القسم الثالث : لفصل الكيميائي الكهربائي (الأيليكترودياليسيس)                | ٣٩٥        |
|   | ED/RED   |            |
|   | ٤- القسم الرابع : لترشيح الفائق  | ٤٠٥        |
|   | هـ- القسم الخامس : تحلية للمياه المالحة بالتقطير (الحرارية)                    | ٤٠٧        |
| ٨ | ملحق: كفاءة نظم المعالجة المختلفة في إزالة مختلف الملوثات                      | ٤٢٩        |
| ٩ | المراجع  | ٤٣٣        |



## مقدمة الكتاب

# اثر المياه فى حياة الإنسان

الماء هو عصب الحياة فهو اساس الحياه لكل الكائنات الحيه (الانسان، الحيوان، النبات). وصلى الله العظيم حيث يقول "وجعلنا من الماء كل شئ حى". وبدون الماء لا تستمر الحياة ولهذا فان القاعدة منذ بدء الخليقة اينما يعيش الانسان يوجد مصدر للمياه. الماء هو اهم المواد الطبيعية على كوكب الارض فكمياته ثابتة وان تغيرت بين العذب والمالح والسطحية والجوفية. تمثل المسطحات المائية ٨٠% من سطح الكرة الارضية والتي تقدر بالميل المكعب. فى البحار والمحيطات ٣١٧ مليون ميل مكعب وللثلوج الجليدية ٧,٣ مليون ميل مكعب، البحيرات المالحة ٢٥ لى ميل مكعب، الانهار ٤١١ الف ميل مكعب، مياه البحيرات العذبة ٣٠ الف ميل مكعب، المياه الجوفية مليون ميل مكعب، التربة الغير مشبعة ١٦ الف ميل مكعب، مياه البخار فى الجو ٣,١ الف ميل مكعب. وتمثل نسبة المياه ٧٥% من وزن جسم الانسان، ٨٠% من معظم الخضروات. وفى نفس الوقت فان المياه هى من مسببات ٨٠% من الامراض فى العالم كله.

المياه تسير طبقا للظروف المناخية كمياه الامطار والطبوغرافية كمياه الانهار والهيدرولوجية كالمياه الجوفية وذلك خارج الحدود السياسية والاقليمية للتقسيمات الارضية. الماء هو السائل الوحيد الذى يوجد فى الحالة السائلة والصلبة والغازية فى نفس الظروف البيئية. الماء يسمى المذيب العالمى لتفوقه وقدرته فى اذابة معظم المواد عن اى مذيب اخر. للماء يحد من التغيرات الحادة فى حرارة الجو كما يحافظ الماء فى جسم الانسان على درجة حرارة الجسم. يمكن للماء الاحتفاظ بدرجة الحرارة واطلاقها عن اى سائل اخر (عدا سائل النشادر). الهواء الجوى

يحتوى على ٢% الى ٤% بالحجم من الماء طبقا لقربه من المسطحات المائية حيث تتغير تبعا لذلك درجة الرطوبة وبخار الماء في الهواء والذي هو مصدر سقوط الأمطار. بخار الماء يعكس كثيرا من الحرارة التي تنبعث من اشعة الشمس الى الفضاء و يحتفظ بجزء اخر من الحرارة ويعيد انعكاسها على سطح الارض مع الاحتفاظ بجزء اخر في الجو. وهذه الظاهرة توفر غلاف دافئ حول سطح الارض وذلك على عكس التغير اليومي الحاد الذي يحدث على سطح القمر حيث تتأرجح درجة الحرارة ما بين -١٧٣°م الى ١٢٣°م. وبخار الماء في الجو له وظائف اخرى وهي حجز الموجات القصيرة من الاشعة فوق البنفسجية التي تنبعث من الشمس وتكلف شبكية العين وكذلك تصيب جلد الانسان بالسرطان.

بخار الماء هو الغاز الوحيد الذى يتكثف فى درجة الحرارة العادية ولهذا يعتبر المصدر الوحيد لانتاج الطاقة. عند تحول جرم من البخار الى الماء ثم الى الثلج ينتج عنه ٧٢٠ سعرا حراريا. وعند التحول العكسى من الثلج الى البخار يمتص ٧٢٠ سعرا حراريا ولهذا للظاهرة تحدث حالة الاتزان في درجة حرارة الأرض.

السعة التخزينية الحرارية للماء كبيرة حيث يلزم ١٠٠ سعر حراري لتحويل جرام واحد من الماء الى درجة الغليان (١٠٠°م) ولكن لجعل الماء في حالة غليان لانتاج البخار يلزم ٥٤٠ سعرا حراريا وهذا يبين الطاقه التخزينيه الكبيره للبخار نظرا لإحتوائه على طاقة ٥,٤ ضعف الماء. الهواء المحمل ببخار الماء أخف وزنا من الهواء الجوي وذلك نظرا لأن الوزن الجزيء للماء ١٨ وللأكسجين ٣٢ وللنيتروجين ٢٨. ونظرا لانخفاض درجة الحرارة كلما بعدنا عن سطح الأرض فإن الهواء المحمل ببخار الماء يصعد حتى يصل إلى درجة التجمد. والماء يتجدد طبيعيا بواسطة البخار وسقوط الأمطار. تصل أقصى كثافة للماء عند درجة حرارة ٤°م والتي هي اكبر من تجمد الماء، ولذلك فإن المسطحات المائية في المناخ البارد تكون مغطاه بطبقة من الثلج الخالية من الأملاح واسفلها مياه مالحة. تحدث زيادة في حجم المياه عندما تتجمد ففي الأجواء الباردة تتأرجح درجة حرارة الجو حول درجة تجمد المياه في أوقات كثيرة بما يجعل المياه في الشقوق الصغيرة في

الصخور تتجمد والقوة الناتجة عن زيادة حجم الماء بعد تجميده تعمل على زيادة الشقوق وتدمير أكثر الصخور صلابة وتفتتها.

الماء مركب أيوني له شحنة موجبة من أيون الهيدروجين ( $H^+$ ) وشحنة سالبة من أيون الإيدروكسيد ( $OH^-$ ) الماء في الطبيعة يحتوى على نسب متفاوتة من الأملاح المذابة والتي تحدد عذوبة المياه وملوحتها. الأملاح المذابة في الماء وطبيعة تركيبه الأيوني يساعدا على نقل الشحنة الكهربائية وهذه الخاصية هي المسببة لظاهرة التآكل (صدأ) لمعظم المعادن المعرضة للمجال للرطب حيثما يتوفر الهواء الجوى أو الأكسجين للمذاب في الماء. الماء هو المصدر الرئيس لإنتاج الطاقة النظيفة والاقتصادية ولذلك فقد استغلت مساقط المياه الطبيعية كما أنشئت المساقط الصناعية كالسدود لإنتاج الطاقة الكهربائية. تكلفة إنتاج الطاقة من سقوط المياه تعادل نصف تكلفتها باستخدام الوقود من الفحم أو الغاز أو زيت البترول كما تعادل ثلث تكلفة الطاقة من المحطات النووية. كما يستفاد من حركة الأمواج وارتفاع درجة الحرارة في قاع البحار والمحيطات في إنتاج الطاقة الجديدة والمتجددة.

المياه هي العامل الأساسي للزراعة وكذلك المصدر الوحيد للإرتواء بمياه الشرب للإنسان والحيوان والطيور كما أن المياه وسيلة جيدة واقتصادية للنقل وتشمل الاستخدامات الأخرى للمياه عمليات التسخين والتبريد. والمياه تستخدم في العمليات الصناعية المختلفة سواء لدخولها في مكونات المنتج النهائي أو للإزابة أو لاتمام التفاعلات أو للنظافة وللاطفاء.

المياه في المجارى السطحية تكون عذبة وملوحتها ما بين ٢٠٠ الى ١٠٠٠ جزء في المليون وهي الصالحة للشرب وللإستزراع. مياه البحار والمحيطات تتراوح ملوحتها ما بين ٢٠٠٠٠-٥٠٠٠٠ جزء في المليون ومياه البحيرات املان تكون عذبة او مالحة او مملحة (Brakish) وهذه ذات ملوحة من ٢٠٠٠ الى ١٠٠٠٠ ا جزء في المليون. المياه الجوفية إما عذبة او مالحة وكقاعدة فالخزانات الجوفية المالحة تكون قريبة من شواطئ البحار وتندرج في الإنخفاض في التربة الحاملة للمياه تحت منسوب سطح البحر كلما بعدت عن الشاطئ، وقد تصل المياه

الجوفية الى مسافات بعيدة جدا طبقا لتنازية التربة ومعدل الانتقال للمياه وخاصة اذا كانت تغطيها طبقة صماء غير منفذة تحدد مسار الخزان الجوفى المالح. وكذلك بالنسبة للمياه الجوفية العذبة، فالقاعدة أن المياه الجوفية العذبة تغطي المياه المالحة الأكثر كثافة ويتدرج سمك للطبقة الحاملة للمياه العذبة فى الانقصاص كلما قربنا من الشاطئ البحر وبالتالي يتدرج سمك الطبقة المالحة فى الزيادة. ولانتأثر ملحوة المياه الجوفية بمياه البحر فقط ولكن التكوينات الجيولوجية للتربة الحاملة للخزان الجوفى. فقد تكون المياه مالحة بدرجات متفاوتة فى حالة وجودها فى التربة المحتوية على الملح الصخرى (كلوريد الصوديوم) والذى ينوب فى المياه الجوفية العذبة ويحولها الى مياه مالحة. وفى بعض أنواع التربة توجد أملاح الحديد والمنجيز المذابة فى المياه الجوفية وكذلك أملاح الكالسيوم والمغنسيوم. ويرجع ذلك الى تحلل المواد العضوية والهلامية والكائنات الحية الدقيقة والملوثات العضوية عموما التى تحملها المياه السطحية أثناء تسربها الى جوف الأرض لتغذية الخزان الجوفى. ونتيجة التحلل للملوثات العضوية تنتج مركبات كيميائية بسيطة منها ثانى أكسيد الكربون والذى يذوب أملاح الحديد والمنجيز والكالسيوم والمغنسيوم التى تكون فى شكل مركب الكربونات الغير مذاب وتحولها الى مركب البيكربونات المذاب فى الماء وذلك طبقا لنوع التربة الحاملة للمياه الجوفية. وفى التربة الجيرية تظهر أملاح العصر من الكالسيوم والمغنسيوم أما التربة من الحجر الرملى والتربة الطفلية فتظهر أملاح الحديد والمنجيز. وقد تتخلص المياه السطحية أثناء رحلتها الى الخزان الجوفى من بعض العناصر الثقيلة المذابة المسببة للأمراض وتستبدلها بعناصر أخرى من أملاح للتربة للغير ضارة وذلك بطريقة للتبادل الأيونى.

الماء هو المسائل البيولوجى الأول فهو يسهل تفاعلات تحول الطعام الى طاقة وخلايا جديدة. وهو كذلك وسيلة انتقال الملوثات من وإلى جسم الإنسان وهو المجال الذى يعمل بتبريد الجسم من خلال الشهيق والزفير والعرق. الماء هو الذى يقوم بدور كبير فى عملية التمثيل الضوئى حيث يتحد الماء مع ثانى أكسيد الكربون، باستخدام طاقة الشمس مكونا المادة الكربوهيدراتية فى النباتات الخضراء مع انطلاق الأكسجين فى نفس الوقت بما يحافظ على مستوى الأكسجين فى الجو لتعويض المستهلك بواسطة كل الكائنات الحية، وفى نفس الوقت خفض ثانى أكسيد

الكربون الموجود فى الجو بما يحد من التلوث الجوى الناتج عن انبعاثات هذا الغاز نتيجة احتراق المواد الكربونية، وعملية التمثيل الكلورفيللى هذه توفر كذلك الأكسجين المذاب فى المسطحات المائية لتعويض الأكسجين المستهلك فى عمليات التحلل البيولوجى للمواد العضوية وبذا يسهل عملية المعالجة الذاتية للمسطحات المائية وكذلك المحافظة على حياة الكائنات المائية. وإذا كانت المياه هى الأساس فى حياة الانسان بالإضافة الى ما توفره كمصدر للاستمتاع والرياضة والترفيه، إلا أن المياه هى المسببة لمعظم الأمراض وذلك فى حالة تلوث المياه بالكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الباتية أو بالعناصر الثقيلة المسببة للأمراض المزمنة أو بالملوثات الأخرى التى تحد من استساغة المياه للشرب أو عدم صلاحيتها للاستخدام المنزلى، هذا بالإضافة الى أن عدم توفر المياه بالقدر المناسب لأغراض النظافة العامة يسبب أمراض الجلد والعين. وإذا كان الهدف هو المحافظة على صحة الإنسان فإن مخاطر المياه لاتقف عند تلوث مياه الشرب فقط حيث أن الملوثات قد تصل الى مصادر غذائه من حيوان ونبات وطيور والتى ترتوى بهذه المياه الملوثة ولهذا يبرز أهمية المحافظة على سلامة البيئة المائية فى مصر سواء بالنسبة للمياه السطحية أو الجوفية وبما يودى كذلك إلى خفض تكاليف المعالجة للمياه عند انتاجها لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى، وذلك على ضوء زيادة الملوثات بأنواعها المختلفة مع زيادة الأنشطة للتنمية والصناعية واستخدام المبيدات والكيماويات.



## الباب الأول

# **المعايير والدلائل للمياة الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي**





## مقدمة الباب الأول

# المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي

أعدت منظمة الصحة العالمية دليل لجودة مياه الشرب لتحديد المعايير طبقاً للأحوال البيئية والاجتماعية والثقافية السائدة في المجتمع. ويقوم بإعداد هذا الدليل الذي يتم تحديثه كل عشر سنوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNED)، ومنظمة العمل الدولية (ILO) ومنظمة الصحة العالمية (WHO) تحت رعاية البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS). والهدف من هذا الدليل هو تقييم أثر المواد الكيميائية على صحة الإنسان والظروف البيئية، مع تقدير حدود التعرض اليومي المقبول والحد الأقصى المسموح به للماء، والهواء، والغذاء، وبيئة العمل لمختلف الكيماويات بما في ذلك المواد المضافة الى الطعام وكيماويات الصناعة والمواد الطبيعية المسببة للسمية وللدائن (Plastics) والمبيدات. وقد أعدت هذه الدلائل لوصف نوعية المياه المناسبة للشرب في مختلف الظروف، على أن تطبق عند وضع المعايير الوطنية طبقاً لظروف كل مجتمع. وقد تؤثر الأولويات الوطنية والعوامل الاقتصادية في تقدير المعايير إلا أنه يجب ألا يسمح لاعتبارات السياسة العامة أو للرغبة في التمييز بأي تهديد للصحة العامة.

إن احتمال التلوث الجرثومي وعواقبه للخطرة يؤكد أهمية مكافحته. وقد يرفض المستهلك مياه الشرب عالية الجودة والخالية من التلوث الجرثومي إذا كانت مرتفعة الملوحة، بينما يفضل عليها المياه التي يمتسيغها ولو كانت بها ملوثات جرثومية. وعند اعداد المعايير الوطنية لمياه الشرب يؤخذ في الاعتبار

المدخول الإجمالي من كل مادة عن طريق الهواء والغذاء والماء بفرض أن الفرد الواحد يستهلك لترين من الماء يوميا وذلك مع الأخذ في الاعتبار التعرض المهني.

وتشمل القيم الدليلة الملوثات الجرثومية من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية، وكذلك الملوثات من المواد العضوية والغير عضوية والتي تسبب زيادتها عن المعايير المقررة أمراض تضعف كفاءة الأداء الفسيولوجي للأعضاء مثل أمراض الكلى والكبد والجهاز الهضمي وخلافه. كما تشمل الدلائل اعتبارات خاصة باستساغة المياه وقابليتها للشرب وصلاحياتها للاستخدام المنزلي وإن كانت هذه الاعتبارات ليس لها آثار ملموسة على الصحة العامة. وعند وضع المعايير لمياه الشرب استرشادا بالقيمة الدليلة يجب أن يصاحبها القرارات المتعلقة بكفاءة وضمان تنفيذها. وضع المعايير وإصدار القرارات هي مسئولية وزارة الصحة لما للمياه من أثر كبير على الصحة العامة.

ومن القرارات الهامة هي الموافقة على المصادر الجديدة لمياه الشرب وإنشاء وتشغيل مرافق المياه وعند اختيار مصدر للمياه سواء من المجاري السطحية أو من الخزانات الجوفية حيث يلزم التأكد من استمرار الصلاحية وتوفير المياه من المصدر مع التغيرات اليومية والموسمية والزيادة المستقبلية للسكان. وكذلك مدى ملائمة نوعية مياه المصدر للمعالجة بالطرق التقليدية لتوفير مياه للشرب طبقا للمعايير المقررة. وكذلك حماية المصدر المائي من التلوث بمياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي حاليا وفي المستقبل. كما يجب الفحص وعمل التحاليل الطبيعية والبيولوجية والكيميائية لمياه المصدر لمدة مناسبة تغطي الاختلافات الموسمية التي قد تحدث تغير في نوعية المياه.

وفي الأحياء الفقيرة والمناطق العشوائية دخل المدن توجد مشاكل خاصة في الحفاظ على نوعية مياه الشرب، وذلك رغم وجود هذه المناطق والأحياء في نطاق شبكة توزيع المياه أو بالقرب منها، ولكن الكثافة السكانية العالية وعدم توفير للتوصيلات للمنازل وقطع الإمداد وانخفاض ضغوط اللضخ في الشبكة والتسرب وعدم وجود شبكة للصرف الصحي. كل ذلك يجعل مياه الشرب معرضة لأخطار التلوث. ولذا يجب أن تعطي هذه المناطق الأهمية الخاصة في الإمدادات بالمياه

الأمنة مع زيادة المتابعة للرصد البيئي والتأكيد على استمرار صلاحية المياه للشرب.

وتعتبر المعلومات عن المصدر وتقنيات المعالجة وشبكة التوزيع وكفاءة القائمين على الصيانة والتشغيل أساسية. وذلك لأن التحليل الكيميائي والبيولوجي للعينات يمثل الموقف في لحظة زمنية معينة، وتظهر نتائج التحليل بعد وقوع الحدث. وكثيراً ما يكون التلوث عشوائياً ومنقطعاً وقد لا تكتشف العينات التي تختبر طبقاً لخطه، حيث تظهر نتائج الاختبارات البيولوجية التقليدية بعد ٢٤ ساعة في حين قد يكون المجتمع خلال هذه الفترة في خطر. ولذلك فإن اختبار الكلور المتبقي (Residual Chlorine) يعتبر تقييم سريع وسهل الإنجاز، كما أنه مؤشر جيد على سلامة المياه في المحطات والشبكات والخزانات من التلوث البيولوجي. الملوثات الكيميائية لا تصحبها في العادة أثار فورية حادة، ولذا فإن ذلك يضعها في مرتبة تالية من حيث الأسبقية للملوثات البيولوجية التي قد يكون لها تأثير فوري وجسيم.

والقيم الدليلة للملوثات الكيميائية تتعلق بمستوى متوسط من التعرض فالزيادة العارضة القليلة تعتبر مقبولة. ويلزم دائماً اتخاذ إجراء فوري إذا كانت هناك شواهد على تلوث مياه الشرب بالصرف الصحي. وفي هذه الحالة يكون الأمر بغلق مصدر المياه مع توفير مصدر بديل لحين عمل الإصلاحات اللازمة. وفي حالة عدم توفر البديل تعطى التعليمات المشددة للمستهلكين بغلي الماء، مع البدء في زيادة الكلور للمياه المعالجة الخالية تماماً من العكارة، حيث المياه العكرة المكشورة تمثل خطراً جراثيمياً نظراً لعدم كفاءة الكلور في قتل الكائنات الحية الدقيقة التي تختبئ في المواد الصلبة العالقة (العكارة).

وقد أصدرت وزارة الصحة القرار رقم ١٠٨ لسنة ١٩٩٥ بشأن المعايير والمواصفات الواجب توافرها في المياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي والتي أقرتها اللجنة العليا للمياه في ١٩٩٥/٢/٢٦ استرشاداً بالقيم الدليلة لمنظمة الصحة العالمية والتي تشمل الخواص الطبيعية والمحتوي من المواد العضوية والغير عضوية والكائنات الحية والتي لها تأثير على صلاحية المياه للشرب والاستخدام المنزلي.



## القسم الأول

### الخواص الطبيعية لمياه الشرب والتي تشمل اللون، الطعم، العكارة، الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة

#### ١- اللون :

ويرجع اللون إلى التلوث بالمواد العضوية أو الغير عضوية. والألوان من المواد المذابة لا يمكن التخلص منها بالترشيح أما الألوان الناتجة عن المواد العالقة (مثل أملاح الحديد والصدأ) فيمكن إزالتها بالترسيب والترشيح. والألوان التي لا تزال في المرشحات الرامية مثل تلك الناتجة عن المواد العضوية المذابة في الماء يمكن إزالتها باستخدام الفحم المنشط عند إضافته للوسط الترشيحي، أو عند إضافة بوردرة الفحم المنشط في مرحلة المعالجة باستخدام المرويات وخاصة عندما تكون عكارة المياه منخفضة. وحدود القياس للون هو ٢-٣ كحد أقصى بمقياس الكوبالت البلاتين.

#### ٢- الطعم والرائحة :

طعم المياه هو الإحساس الناتج عن التفاعل بين اللعاب والمواد المذابة في الماء. وعند تذوق الماء تنشيط حاسة التذوق والشم، ومن الصعوبة التفريق بينهما. ولذلك فإن كثيراً ما يصنف التأثير المشترك للطعم والرائحة على أنه الطعم. وعند تقييم جودة مياه الشرب يعتبر إحساسا الطعم والرائحة مكملين لبعضهما البعض.

ويمكن القول بصفة عامة أن حاسة الطعم تفيد في الكشف عن الملوثات الغير عضوية في مياه الشرب بينما حاسة الشم تفيد في الكشف عن الملوثات العضوية. والماء المحتوي على أملاح بتركيزات أعلى أو أقل من تلك الموجودة في اللعاب تستشعر حاسة الذوق بأنه مختلف عن اللعاب، ولذا فإن الماء المحتوى على تركيزات قليلة من الصوديوم، الكلوريد، الكالسيوم، البيكربونات يبنو بدون طعم. والكلور المتبقي قد يخفى طعم الماء حيث يزداد الإحساس بحقيقة الطعم مع إزالة الكلور المتبقي كيميائيا. لذلك ينبغي أن يكون تركيز الكلور المتبقي (الحر) عند صنبور المستهلك منخفضا بقدر كاف لتجنب مشكلات الطعم والرائحة وفي الوقت نفسه عاليا بما يضمن خلو المياه من الجراثيم. وتضفي كثيرا من المواد الغير عضوية الذائبة في الماء طعما منفرا بتركيزات أقل من تلك التي تحدث تأثيرات سامه، ولحسن الحظ فإن معايير الطعم للمواد الغير عضوية أقل بكثير بوجه عام من للتركيزات المسببة للأضرار الصحية.

وفي حالة وجود طعم منفرد للمياه قد يدفع للمستهلك إلى مصادر بديلة والتي قد تخضع أو لا تخضع إلى نفس درجة الحماية الجرثومية للمياه المرفوضة وقد تدل التغيرات قصيرة الأجل في الطعم على حدوث تغير في نوعية مياه المصدر أو قصور في عمليات المعالجة أو التآكل الكيميائي للمواسير أو نمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة في شبكة التوزيع أو الخزانات العلوية أو الأرضية أو المنزلية.

ومشاكل الطعم في الماء قد تكون بسبب الأملاح الكلية المذابة وكذلك بسبب وجود الحديد والمنجنيز والزنك. للمياه المحتوية على أملاح كلية مذابة أقل من ١٢٠٠ ملليجرام /لتر يعتبر مقبولا للشرب ولو أنه من المفضل ألا يزيد عن ٦٥٠ ملجرام / لتر. وتوجد أملاح معدنية لها تأثير واضح على الطعم مثل كلوريد المغنيسيوم وبيكربونات المغنيسيوم ولكن الكبريتات مثل كبريتات المغنيسيوم والكالسيوم ليس لها تأثير على الطعم. وقد يكون الطعم والرائحة بسبب تلوث المياه بالمواد العضوية المصنعة مثل رابع كلوريد الكربون وثاني وثلاثي الكلوروايثيلين ويظهر طعم الكلور في الماء عند تركيز ٢ ملليجرام / لتر في المجال المتعادل والكلورامين عند تركيز ٠,٤٨ ملليجرام /لتر. الكلور الحر يمكن أن يتفاعل مع

المواد العضوية مسببا مشاكل للطعم والرائحة واشدها تأثيرا هو التفاعل بين الكلور والفينول كما أن التزايها لومثيان يمكن كشفه بالرائحة عند تركيز ٠,١ ملليجرام /لتر للكلوروفورم، ٠,٣ ملليجرام/لتر للبروموفورم. والفلوريدات تعطى طعم خاص عند تركيز ٢,٤ ملليجرام /لتر ويعتبر تحلل النياتات ونشاط البكتريا من أكثر العوامل المسببة للطعم والرائحة للمياه من المصادر السطحية. وأكثر الكائنات المسببة للطعم والرائحة هي الطحالب والفطريات وأنواع من البكتريا والبروتوزوا. في المياه الجوفية وبعض شبكات التوزيع يحدث مذاق سيئ نتيجة تحلل أملاح الكبريتات بفعل البكتريا اللا هوائية إلى كبريتيد الهيدروجين.

### ٣- العكارة واللون :

يعتبر مظهر المياه من عوامل قابليتها للمستهلاك وكذلك يعتبر المستوى المنخفض للون والعكارة هام لكثير من الصناعات. المياه المرشحة لها قيمة دلالة للون ٣-١٥، ومقياس عكارة من صفر إلى واحد بمقياس الكدر (NTU Nephelometry) ومصدر اللون في المياه يمكن أن يشمل الأيونات المعدنية الطبيعية وكذلك الرقم الهيدروجيني المنخفض الذي ينشط التآكل الكيميائي للمواسير والأوعية والخزانات الأسمنتية ومواسير الاسبستوس والمونة الأسمنتية المبطننة لمواسير الزهر. الرقم الهيدروجيني المتعادل ما بين ٦,٥ إلى ٨,٢ يساعد على نشاط البكتريا المؤكسدة للحديد وغيرها. وسبب العكارة في الماء هو وجود أجسام عالقة مثل الطمي والأجسام الغروية (Colloidal) والكائنات المجهرية الأخرى. والعكر تعبير عن خواص تشتيت الضوء وامتصاصه في عينة من الماء. يمكن استعمال خمسة طرق لقياس العكر للماء إلا أن اثنان هما اللتان يشكلان أساس طرق المعايرة الحالية وهما قياس الكدر Nephelometry وقياس العكر Turbidimetry وقد استخدمت شمعة جاكسون أو (أنبوبة جاكسون) وهي قيمة تستند على القياس في وعاء مدرج خاص بالعمق للعينة الذي يخفى صورة شمعة عيارية عمودية على السائل في وعاء مدرج ويتم الملاحظة للعينة عموديا حتى إختفاء صورة الشمعة وقد استبدلت الشمعة بمصباح كهربائي له شدة استضاءة معينة ويترأخ حجم الجسيمات المسببة للعكر في الماء ما بين ١٠ نانو متر للأجسام الغروية

(Colloidal) إلى حوالى ٠,١ ملليمتر ويمكن أن يحدث العكر العضوى نتيجة تراكم الكائنات المجهرية مثل نمو الطحالب ذات اللون الأخضر المائل إلى الزرقاء والذى يجعل شكل المياه غير مقبول كما أن نواتج التآكل من مسببات العكارة.

والعكارة علاقة بجودة وصلاحية المياه للشرب حيث يمكن أن تكون العكارة غذاء للكائنات الجرثومية وحمايتها أو تكون سببا فى عدم إمكان الكشف عنها. وتساعد العكارة على نمو وتكاثر الكائنات الجرثومية ولقد إتضح أن طمى الأنهار يمتاز الفيروسات بسهولة. فى عمليات المعالجة لمياه الشرب باستخدام الترويب فإن الجراثيم والفيروسات تعلق بالزغيات (Floc's) المتكونة وتزال مع العكارة سواء كانت عضوية أو غير عضوية أو من الكائنات الدقيقة التى يمكن أن تحمى الجراثيم والفيروسات من فعل المطهرات باستخدام الكلور مع زمن مكث قدره ٣٠ ث ووجود كلور متبقى بين ٠,١ إلى ٠,٥ مليجرام /لتر. ولهذا لا يمكن جعل المياه آمنة للشرب إلا بعد إزالة العكارة فى مراحل الترويب والترسيب والترشيح قبل الكلورة. العكارة كذلك تحمى الكائنات الجرثومية من التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية لهذا فإنه لإنتاج مياه الشرب الآمنة باستعمال المطهرات من الكلور أو خلافه المحافظة على مستوى منخفض من العكارة اقل من واحد بمقياس الكدر (Ntu).

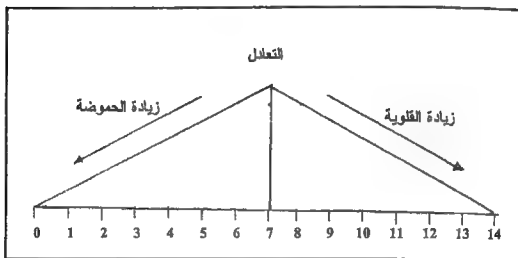
## ٢- الرقم الهيدروجينى: pH Value

الرقم الهيدروجينى لكيان مائى هو قياس للتوازن الحمضى القلوى الذى تحققه مختلف المركبات المذابة فيه وقيمة الرقم الهيدروجينى اقل من ٧ تبين الحالة الحمضية والأكثر من ٧ تبين الحالة القلوية والقيمة ٧ للرقم الهيدروجينى تبين حالة التعادل بين الحموضة والقلوية (الشكل ١).

والرقم الهيدروجينى لمعظم المياه الطبيعية بحكمه التوازن بين مسببات الحموضة (ثنائى أكسيد الكربون) ومسببات القلوية (البكربونات و الكربونات) وتوازنات أخرى والتى تتأثر جميعها بدرجة الحرارة (يحدث انخفاض فى الرقم الهيدروجينى قدره ٠,٤٥ كلما ارتفعت درجة الحرارة ٢٥°م). ويتغير تأثير درجة



الحرارة في الماء المحتوى على قدرة درىء (Buffering Capacity) نتيجة وجود أملاح البيكربونات. ويقع الرقم الهيدروجيني لمعظم المياه العذبة الطبيعية في المجارى السطحية ما بين ٦,٥ - ٨,٥. أثناء معالجة المياه يعمل الكلور على خفض الرقم الهيدروجيني بينما يرتفع الرقم الهيدروجيني عند إزالة عسر المياه باستخدام الجير المطفي، الصودا (Lime / Soda).



شكل رقم (١) الرقم الهيدروجيني (الحموضة والقلوية) - (pH. Value)

الرقم الهيدروجيني المنخفض يساعد على تنشيط التآكل الكيميائي والكهروكيميائي في المعادن والسياتك من الحديد/الصلب/الزهر/النحاس حيث ينشط للتآكل كلما قل الرقم الهيدروجيني. وكذلك الرقم الهيدروجيني المنخفض (الحالة الحامضية) ينشط التآكل الكيميائي للمواد الأسمنتية وذلك بسبب التفاعل بين الحامضية في الماء وقلوية الأسمنت التي تبلغ ١٢,٥ (pH=12.5). وزيادة الرقم الهيدروجيني نحو القلوية حتى رقم الهيدروجيني ٨,٥ يزيد من معدل التآكل الكهروكيميائي بسبب زيادة وتركيز الأملاح في الماء المسببة للقلوية. ومع زيادة الرقم الهيدروجيني حتى ١٢,٥ كما في حالة المونة الأسمنتية تحدث الحماية لمعدن الحديد الملائق للمادة الأسمنتية والخرسانية نتيجة تكوين أكسيد الحديد على سطح المعدن الذي لا ينوب ويحمى المعدن ويتوقف التآكل، كما في حالة حديد

التسليح في الخرسانة المسلحة أو طبقة الحماية من المونة الأسمنتية للسطح الداخلي للمواسير من الزهر المرن، وإن كان الوصول إلى الرقم الهيدروجيني ١٢,٥ غير وارد في مياه الشرب والاستخدام المنزلي. المياه التي تميل إلى القلوية تعمل على ترسيب طبقة من كربونات الكالسيوم التي توفر الحماية للسطح الداخلي للمواسير من التآكل وهذه الظاهرة تتوقف على بعض الخصائص للمياه في المواسير وهى العمر الكلى والقلوية الكلية ومجموع المواد الصلبة الذائبة ودرجة الحرارة بالإضافة إلى الرقم الهيدروجيني. حيث أن هذه الخصائص كما يمكن أن تعمل على ترسيب طبقة الحماية يمكن كذلك أن تعمل على إذابة أملاح الكالسيوم من المادة الأسمنتية وإتلافها. العلاقة بين تلك الخصائص تحكمها معادلات تمكن من إستنباط ما تحدثه المياه من الحماية أو التآكل، ومن هذه المعادلات أو المحددات (Parameters) مخطط لانجاليير للتشبع (LSI-Langelier Saturation Index)، مخطط العدوانية (AI-Aggressive Index) ومخطط الثبات لريزرز (RSI-Rysnar Stability Index). والمياه التي ترسب كربونات الكالسيوم بسمك ١-٣ مم لتوفير الحماية من التآكل يمكن التحكم فيها باستخدام المخططات المذكورة سابقا بضبط الرقم الهيدروجيني بإضافة الجير أو الصودا ألس أو الصودا الكاوية بمعدلات تتراوح ما بين ٥-٢٥ ملجرام فى اللتر، وطبقا لنوعية المياه والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة.

قد تتعدى المياه مرحلة الترسيب لطبقة الحماية وتحدث ترسيبات وتراكمات بسمك كبير من كربونات الكالسيوم بما يحدث انسداد فى المواسير ويقلل من معدل تنفق المياه ويزيد من جهد الضخ، وقد تصل الحالة إلى الانسداد الكامل للمواسير. وفى مثل هذه الحالات يمكن إزالة هذه الترسيبات باستخدام (Inhibitors) المثبطات من أملاح فوسفات الصوديوم (Polysodium Phosphate) بتركيز من ٠,٢٥ إلى ٠,٥ ملجرام / لتر، أو خفض الرقم الهيدروجيني بإضافة ثاني أكسيد الكربون. الرقم الهيدروجيني المتعادل يساعد على نشاط البكتريا (ما بين ٦,٥ - ٨,٢) ومنها المؤكد للحديد أو المختزل للكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجيني ذو الرائحة الكريهة. ولهذا يلزم المحافظة على الكلور الزائد فى شبكة وخزانات المياه لنقداى نشاط هذه الأنواع من البكتريا فى المجال

المعتدل والتي يزداد نشاطها مع ارتفاع درجة الحرارة حيث يبلغ أقصى نشاطها عند ٣٧°م ورقم هيدروجيني ٧. وعند إضافة تركيزات عالية من الكلور للمياه المحتوية على النشادر قد تظهر الرائحة الكريهة لمادة كلوريد النيتروجين (CL<sub>3</sub>- Trichloro Amine) بتركيزات كبيرة عندما يقل الرقم الهيدروجيني عن ٧.

عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني تكتسب مياه الشرب طعماً لازعاً وتزداد كذلك كثافة اللون وقد أدى هذا للتأثير المعروف بتأثير المؤشر إلى اقتراح أن تجرى جميع قياسات اللون لضبط جودة المياه عند رقم هيدروجيني ٨,٣. وفعاليه الكلور في القضاء على الجراثيم تقل مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني وذلك نتيجة الانخفاض في تركيز حامض الهيبوكلورس (HOCL) ذو الأثر الفعال في التطهير مع زيادة القلوية بارتفاع الرقم الهيدروجيني. الرقم الهيدروجيني ليس له تأثير على المطهرات من الأوزون وثاني أكسيد الكلور (ClO<sub>2</sub>).

والرقم الهيدروجيني المنخفض يؤثر على تآكل بعض المعادن المسببة للسمية مثل معدن الرصاص والذي كان يستخدم في المدادات لتوصيل المياه من بريرة خط المياه إلى المنازل. والرصاص يتآكل عندما يزيد الرقم الهيدروجيني عن ١٢ ولا يتآكل في حالة وجود أملاح الكربونات والبيكربونات في مجال رقم هيدروجيني بين ٤-٨. والكلاميوم الذي يوجد كمعدن في مباتك الصلب والنحاس التي تستخدم في محطات وشبكات المياه يتآكل عند رقم هيدروجيني أقل من ٦ ولا يتآكل عند رقم هيدروجيني أعلى من ذلك وخاصة ما بين ٩ إلى ١٣,٥.

ولا توجد علاقة مباشرة بين الرقم الهيدروجيني لمياه الشرب وصحة الإنسان وإن كانت العلاقة تخص جوانب متعددة لجودة المياه. والرقم الهيدروجيني له تأثير على فعالية مواد التطهير مثل الكلور وعلى مختلف العمليات في معالجة المياه التي تسهم في إزالة الفيروسات والكائنات الضارة الأخرى. تزداد كفاءة مواد الترويب مثل الشبه عند رقم هيدروجيني أقل من ٧ بينما المجال المناسب لإستخدام مواد الترويب من كبريتات الحديدك أو كبريتات الحديدوز هو من ٨,٥ إلى ٩,٥ ولذلك تضاف مساعدات الترويب في الحالة الأولى (عند استخدام الشبه) لخفض الرقم

الهيدروجيني وفي الحالة الثانية (عند استخدام كبريتات الحديدك والحديدوز) تضاف الصودا الكاوية أو الجير لرفع الرقم الهيدروجيني.

ويمكن القول أن الرقم الهيدروجيني له تأثير غير مباشر على الصحة العامة والقيمة الموصى بها للرقم الهيدروجيني في مياه الشرب ما بين ٦,٥ - ٨,٥ على الرغم بأن بعض المشكلات يمكن أن تحدث في شبكة للتوزيع عندما يقل الرقم الهيدروجيني عن ٧.

## ٥- درجة الحرارة

تؤثر درجة الحرارة على كل جانب من جوانب توزيع ومعالجة المياه وبصفة خاصة معدل للتفاعلات الكيميائية الذي يقل مع انخفاض درجة الحرارة. ومياه الشرب الباردة أكثر قبولا وإستساغة من مياه الشرب الدافئة. وكثافة المياه تبلغ أقصاها في درجة حرارة الغرفة وتقل بالتبريد. والتسخين بزيادة درجة الحرارة يزيد من ضغط بخار المركبات العضوية المتطايرة في مياه الشرب بما يؤدي إلى ظهور الرائحة. ترتبط العكارة واللون بدرجة الحرارة بشكل غير مباشر فمع ارتفاع درجة الحرارة تقل اللزوجة. وتزداد كفاءة الترسيب والترشيح في الصيف لتكون أعلا منها في الشتاء. ويتأثر الترشيح عند استخدام الكربون المنشط بدرجة الحوارة فنقل كفاءة الامتزاز (Adsorption) للفحم المنشط كلما زادت درجة الحرارة. وكما زادت درجة الحرارة قل الرقم الهيدروجيني المناسب للترويب والترغيب، ولذا لتحقيق الاقتصاد في استخدام المروبات تجرى تجارب تعيين الجرعة بجهاز اختبار التقنية (Jar Test) في درجة حرارة مياه المصدر وليس في درجة حرارة الغرفة. ومع انخفاض درجة الحرارة تقل إمكانية تكوين الزغابات باستخدام المروبات وكذلك متوسط حجم الزغابات. وبصفة عامة فإن ارتفاع درجة حرارة الماء تساعد في زيادة كفاءة المطهرات لقتل الكائنات الجرثومية الممرضة، وكذلك تزداد كفاءة إزالة هذه الكائنات العالقة في عمليات الترغيب والترسيب والترشيح بسبب النقص في لزوجة المياه. ويقل زمن بقاء الحويصلات وبيض الديدان الطفيلية مع ارتفاع درجة الحرارة، فبيض للبلهارسيا يموت بعد ٩ أيام في درجة حرارة من ٢٩-٣٢°م، وخلال ٣ أسابيع في درجة حرارة ١٥-٢٤°م خلال ٣ شهور في

درجة ٥٧ م، ولكن المياه الراكدة تنشط نمو للكائنات المسببة للمضايقة والتي يمكن ان تؤدي الى ظهور طعم ورائحة كريهين. ويزداد معدل تكوين مركب الترايسا لوميثان في مياه الشرب المكلورة مع ارتفاع درجة الحرارة. وزيادة درجة الحرارة تنشط تفاعلات التآكل، ولكن اضافة ايدروكسيد الصوديوم لرفع الرقم الهيدروجيني يؤدي الى خفض هذه للزيادة الى النصف في نفس نطاق درجة الحرارة. ومع ارتفاع درجة الحرارة يقل الأكسجين المذاب في الماء وهو عامل هام في تنشيط التآكل الكهروكيميائي.

وزيادة درجة الحرارة مع انخفاض الرقم الهيدروجيني يعمل على إذابة طبقة الحماية من كربونات الكالسيوم على الجدار الدخلى للمواسير وبالتالي لا تتم ترسيبات جيدة. والجدول (١) يوضح الخواص الطبيعية لمياه الشرب طبقاً لدلائل منظمة الصحة العالمية والمعايير التي أصدرتها وزارة الصحة:

جدول (١) الخواص الطبيعية لمياه الشرب

| الخاصية           | الدلائل التي أعتها منظمة الصحة العالمية      | المعايير التي أصدرتها وزارة الصحة  |
|-------------------|--|--|
| الطعم والرائحة    | مقبول لدى معظم المستهلكين                    | مقبولان  |
| اللون             | —  | ٢-٣ كحد أقصى بمقياس الكوبالت بلاتين.                                     |
| العكارة           | ٥ بمقياس NTU و يفضل واحد لضمان كفاءة التطهير | ٥ بوحدات جاكسون أو ما يعادلها للمياه المرشحة ١٠٠ للمياه الجوفية و الخليط |
| الرقم الهيدروجيني | ٨,٥ - ٦,٥                                    | ٩,٢ - ٦,٥  |



## القسم الثانى

### المواد الغير عضوية فى مياه الشرب ذات التأثير على الاستساغة أو الاستخدام المنزلى والتي لا تأثير لها على الصحة العامة

#### ١- الأملاح الكلية المذابة عند ٢٠°م

المياه ذات المحتوى العالى من الأملاح الكلية المذابة تكون اقل استساغة للمستهلك، وطبقاً لنوع الملح الموجود فى الماء يحدث مذاق لاذع فى حالة أملاح الكبريتات والذي يظهر على مستوى أعلا من ٣٠٠ - ٤٠٠ ملجرام / لتر. وتركيز الكلوريدات أكثر من ٢٥٠ ملجرام / لتر يعطى مذاق مالح. ولا يوجد دليل على وجود أضرار صحية فى حالة المياه التى بها أملاح مذابة أكثر من ١٢٠٠ ملجرام / لتر ويبدو ان نتائج بعض الدراسات أظهرت ان الأملاح الذائبة فى مياه الشرب يمكن أن يكون لها آثار صحية مفيدة. قرر بريفلد (Brevelde) وزملاؤه استساغة مياه للشرب لمستوى مجموع المواد الصلبة المذابة على النحو التالي:

- ممتاز أقل من ٣٠٠ ملجرام / لتر
- جيد بين ٣٠٠ - ٦٠٠ ملجرام / لتر
- مقبول بين ٦٠٠ - ٩٠٠ ملجرام / لتر
- ردئ بين ٩٠٠ - ١٢٠٠ ملجرام / لتر
- غير مقبول أكثر من ١٢٠٠ ملجرام / لتر

كذلك فإن المياه ذات المستوى المنخفض من الأملاح المذابة غير مستساغة للشرب.

### ٣- الحديد

يأتى الحديد الرابع فى ترتيب أكثر العناصر وفرة من حيث الوزن فى القشرة الأرضية. يوجد الحديد فى مياه المجارى السطحية فى شكل ثلاثي التكافؤ الغير مذاب فى الماء أو فى شكل مركب هلامي من الحديد والمواد العضوية. وفى المياه الجوفية قد يوجد الحديد فى شكل ثنائي التكافؤ من أملاح الحديدوز التى تنوب فى الماء. وتزال مركبات الحديد من المياه السطحية العذبة فى مراحل المعالجة بالمرشحات. وقد توجد أملاح الحديد فى المياه بعد المعالجة والضخ فى الشبكة نتيجة تآكل المواسير الحديدية فى شبكة التوزيع للمصنوعة من الصلب أو الزهر. ويرجع وجود الحديد فى مياه الآبار الى وجود أملاح الحديدك فى بعض أنواع التربة الحاملة للمياه الجوفية فى شكل غير قابل للذوبان. وعند تحلل بعض الملوثات العضوية من الكائنات الحية الدقيقة أو النباتية لا هوائيا أثناء رحلة المياه الحاملة لهذه الملوثات الى جوف الأرض يكون من نواتج التحلل ثنائي أكسيد الكربون. تختزل أملاح الحديدك من الكربونات والأيدروكسيد الغير مذاب الى أملاح الحديدوز القابل للذوبان فى الماء نتيجة تفاعل ثنائي أكسيد الكربون مع أملاح الحديدك. وتركيزات الحديدوز فى المياه الجوفية تتراوح ما بين ٠,١ ملجرام/لتر الى مايزيد عن ٣٠ ملجرام/لتر. ومركبات الحديدوز المذابة لا لون لها وعندما تتعرض المياه الجوفية الى الهواء الجوى تتأكسد أملاح الحديدوز الى أملاح الحديدك الغير مذابة والتى تعلق بالمياه فى الشكل الهلامي وتعطى المياه اللون الطوبى الأحمر. ويزال الحديد من مياه الآبار فى حالة وجوده بالأكسدة بالتهوية فقط فى حالة التركيز اقل من ٢ ملجرام /لتر. او بالتهوية والكيمياويات المؤكسدة مثل الكلور فى حالة زيادة التركيز عن ذلك، حيث يتحول الحديدوز الى الحديدك الغير مذاب والذي يرسب ثم يتم التخلص منه بالترسيب والترشيح.



ويوجد الحديد بنسب قليلة جدا في الهواء الجوى. ويختلف محتوى الحديد فى الأطعمة اختلافا كبيرا فمتوسط وجوده فى البقول هو ٢٩,٥ جزء فى المليون، وفى اللحوم ٢٦,٢ جزء فى المليون وهما المصدران الرئيسيان لهذا العنصر أما تركيز الحديد فى معظم الأطعمة الأخرى فهو أقل من ٢٠ جزء من المليون. وقد قدر مدخول الحديد اليومي من الأغذية التقليدية فى الدول المتقدمة من ١٥-٢٠ ملجرام. عادة ماتكون تركيزات-الحديد فى مياه الشرب اقل من ٠,٣ ملجرام / لتر. والمدخول اليومي من الحديد فى الطعام أعلا منه من مياه الشرب. وتختلف تقديرات الحد الأدنى من الاحتياجات اليومية من الحديد من ٧ الى ١٤ ملجرام حسب السن والجنس. فقد تحتاج النساء الحوامل أكثر من ١٥ ملجرام فى اليوم. ويعتبر ١٠ ملجرام هو متوسط الاحتياج اليومي. ويمتص منه حوال ١٠% والباقي يتخلص منه الجسم مع افرازات العرق والبول والبراز. ويستعمل ٦٠ - ٧٠% من الحديد الممتص فى إنتاج هيموجلوبين الدم، ٥% فى إنتاج اليوجلوبيين ويخترن الباقي فى الكبد ونخاع العظام والطحال. ولا توجد مشاكل صحية من تناول الحديد مع الطعام، وإن كانت حالات الاستهلاك الطويل للأغذية الحمضية المطفية فى الاوانى الحديدية ينتج منها كميات كبيرة من الحديد مما يوجد حالة تعرف بالصباغ للدموى حيث الآليات للمنظمة الطبيعية لاتعمل بكفاءة وفى هذه الحالة يسبب تراكم حديد تلف للانسجة.

ومن الامور المنفرة لوجود حديد فى امدادات مياه الشرب التى لاصلة لها بالصحة العامة وهو المذاق الغير مستساغ للماء واللون المنفر بالاضافة الى ما تحذره املاح الحديد الهلامية من التصاق بالاعوية والملابس اثناء الاستخدام المنزلى وعادة ما تتشأ مشكلة حديد فى الماء نتيجة تآكل مواسير الحديد فى شبكة التوزيع. وقد يحدث تراكم لنواتج تآكل الحديد فى الشبكة وتعمل على انسدادها وكذلك قد تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد بما يضيف ملوثات اخرى لوجود هذه الكائنات وتكاثرها.

ولكل ما سبق فإنه من الحكمة حيثما امكن المحافظة على مستويات الحديد فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى دون القيمة ٠,٣ ملجرام / لتر. وقد اجازت معايير

مياه الشرب في مصر المحتوى من الحديد بحد أقصى ٠,٣ ملجرام / لتر للمياه المرشحة و ١ ملجرام / لتر للمياه الجوفية او الخليط.

### ٣- المنجنيز

مصادر المنجنيز المنقولة بالهواء منتشرة لانتشارا كبيرا. وعند وجود المنجنيز في مجارى المياه السطحية يكون في شكل مذاب والغير مذاب العالق وكثيرا ما تحتويه المياه بنسبة حوالى ٠,٢ ملجرام / لتر او اقل. وقد تصل الى ١٠ ملجرام / لتر في المياه الجوفية للحمضية. والمنجنيز يوجد عادة مع الحديد ولكن بتركيزات اقل من نصف تركيزات الحديد. وجود المنجنيز في المياه العذبة يقتصر عادة بالتلوث الصناعى ويختلف محتوى المواد الغذائية من المنجنيز حيث توجد تركيزات منخفضة في منتجات الالبان من صفر الى ١,٩ جزء فى المليون وفى اللحوم من صفر الى ٠,٨ جزء فى المليون وفى الاسماك من صفر الى ٠,٨ جزء فى المليون ويوجد المنجنيز بتركيز اعلى فى الحبوب والقمح بنسبة من ١,٢ - ٣٠,٨ جزء فى المليون. وفى البنق من ٠,٤ الى ٣٥,١ جزء فى المليون وفى الخضروات من ٠,٢ - ١٢,٧ جزء فى المليون. وقد وجدت تركيزات مرتفعة فى اوراق الشاي فيمكن ان يحتوى فنجان شاي على ١,٤ - ٣,٦ ملجرام. ويصل المنجنيز الى جسم الانسان عن طريق الاستشاق وتناول الطعام والماء ولكن الجزء الاكبر يأتى من الاطعمة. ويقدر الاحتياج اليومي من المنجنيز للوظائف الفسيولوجية الطبيعية بمقدار ٣-٥ ملجرام. المنجنيز عنصر ضرورى للانسان والحيوان الا انه لا يمتص سوى ٣% من المنجنيز المتناول والممتص يترك مجرى الدم بسرعة ويتركز فى الكبد. سعة تخزين الكبد للمنجنيز محدودة بحوالى ١-١,٣ جزء فى المليون من الوزن الرطب وعلى الرغم من عدم تأكيد اى اضرار بسبب نقص المنجنيز الا انه من المحتمل وجود علاقة بين نقص المنجنيز وفقر الدم. ويؤدى فقر الدم الى زيادة امتصاص الحديد والمنجنيز ويتناسب عكسى مع مستوى الكالسيوم فى الغذاء ولكنه يرتبط ارتباطا مباشرا بمستوى البوتاسيوم. درجة توبان المنجنيز فى العصارة المعدية منخفض فلا يمتص فى العصارة المعدية سوى ٣-٤ % من القدر المتناول بالغف وينظم المنجنيز أساساً فى الجسم بالإفرازات ويعتبر المنجنيز واحداً

من أقل العناصر سمية ولم تلاحظ أى تأثيرات صحية ضارة بالإنسان مع المستويات التالية من التناول اليومي للمنجنيز.

الطعام ما بين ٢-٧ ملجرام بمتوسط ٣ ملجرام.

الماء ما بين صفر - ١ ملجرام بمتوسط ٠,٠٠٥ ملجرام.

الهواء ما بين صفر - ٠,٠٢٩ ملجرام بمتوسط ٠,٠٠٢ ملجرام.

يمكن أن يكون المنجنيز فى مياه الشرب منفرا لعدد من الاسباب التى لاصلة لها بالصحة العامة. فعدد تركيز ٠,١٥ ملجرام /لتر يضيف مذاقا كريها وغير مستساغ كما انه يلتصق بالاجسام المعدنية والغير معدنية والمنسوجات اثناء غسلها بالماء والمنجنيز المؤكسد يكون ترسيبات عند تركيز حتى ٠,٠٢ ملجرام / لتر. كما يكون تراكمات فى المواسير كرماد اسود. يساعد المنجنيز على نمو بعض البكتيريا وتكاثرها بما يحدث تغير فى مذاق ورائحة وعكارة المياه. والمياه المحتوية على اكثر من ٠,٢ ملجرام /لتر غير مرغوبة فى معظم العمليات الصناعية. ويوصى بقيمة للمنجنيز فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى الاتريد عن ٠,١ ملجرام /لتر لتجنب الآثار المترتبة على عدم الاستماعة والترسيب على الاجسام الملامسة عند استخدام المياه فى النظافة. وقد اوصت للمعايير المصرية بتركيز ٠,١ ملجرام/لتر للمياه المرشحة، ٠,٥ ملجرام/لتر لمياه الآبار. المنجنيز ثنائى التكافؤ يذوب فى الماء ولا يتأكسد بسهولة بالهواء للجوى كما فى حالة الحديد ولكنه يتأكسد بالكلور فى المجال القلوى عند رقم هيدروجينى ٩,٥ وبالمبرمنجات فى المجال المتعادل. تزال الرواسب الناتجة عن عمليات الاكسدة بالترسيب والترشيح مع أملاح الحديد المرسبة أو فى مرحلة تالية ومنفصلة عنها بعد الأكسدة.

#### ٤- النحاس : ١ ملجرام /لتر

يوجد النحاس فى بعض أنواع للتربة وكثيرا ما يوجد فى المياه السطحية. ويتوقف محتوى النحاس فى التربة على عدة عوامل مثل الموقع الجغرافى والقرب من المصانع واستعمالات الأسمدة الغير عضوية والتى تحتوى على تركيزات من النحاس تصل من ٠,٠١ الى ٠,٠٥ جزء فى الألف. ويختلف مقدار

النحاس الموجود في الطعام تبعاً لمحتوى التربة من النحاس. وعادة ما يكون محتوى النحاس في الأطعمة مثل الخضراوات والدقيق ومنتجات الألبان واللحوم أقل من ٠,٠١ جزء في الألف. كذلك تختلف مستويات النحاس في مياه الشرب من ٠,٠٥ إلى ٠,٠١ ملجرام / لتر. وإن كان النحاس يزال في عمليات المعالجة بالمروبيات إلا أن تركيز النحاس في صنوبر المستهلك يمكن أن يكون أعلى مما هو في المياه الخام قبل المعالجة وذلك بسبب تآكل النحاس الذي قد يوجد في شبكات توزيع المياه والسباكة المنزلية. والماء المخزون في أوعية نحاسية يمكنه المحافظة على النوعية الجراثومية دون تدهور. ومركبات النحاس المذاب في الماء تطفئ لوناً وطعماً غير مستساغين لمياه الشرب. والتأثيرات الصحية للنحاس تتمثل في دورة في تكوين كرات الدم الحمراء ونمو الأنسجة والعظام والجهاز العصبي المركزي والنسيج الضام. ولما كان للنحاس موزعاً توزيعاً واسعاً في الأطعمة فإنه من غير المحتمل أن يعاني الإنسان من نقص النحاس ربما باستثناء الرضع الذين يقتاتون اللبن وحده. النحاس تابع للحديد في علاج فقر الدم الغذائي للرضع. ويؤدي تناول الإنسان للنحاس بجرعات مفرطة إلى تهيج مخاطي شديد وتلف شعري واسع الانتشار وتلف كبدى وكلى وتهيج في الجهاز العصبي المركزي يتلوته إكتئاب. كما يمكن أن يحدث تهيج معوى معدى شديد وتغيرات في الكليتين والكبد. ويندر أن يحدث تسمم للإنسان بالنحاس بسبب المفعول المقيى القوي للنحاس. وللنحاس في الماء مذاق بغيض وغير مستساغ وقابض ويمكن ملاحظة الطعم في الماء المقطر عند تركيز ٢,٦ ملجرام / لتر. على الرغم من أن وجود النحاس في إمدادات المياه لا يشكل خطراً على الصحة العامة إلا أنه يمكن أن يتداخل مع الاستعمالات المنزلية بما يسببه من طعم زرقاء على الأواني والملابس الملامسة عند غسلها. والنحاس في الماء ينشط تآكل الأواني المنزلية المصنوعة من الألومنيوم والزنك حيث يتآكل الألومنيوم والزنك لكونهما أقل في الجهد من النحاس. وتركيزات النحاس أكثر من ١ ملجرام / لتر تحدث اللون الأزرق في الأجسام الملامسة وهذه هي القيمة التي يوصى بها في معايير مياه الشرب والاستخدام المنزلى.

## ٥- الزنك : ٥ مليجرام / لتر

الزنك عنصر موجود في الطبيعة بوفرة وهو يشكل ٠,٠٤ جرام في كل كيلو جرام من القشرة الأرضية. أكثر أملاح الزنك شيوعا كبريتيد الزنك والذي يكون مصحوبا بكبريتيد عناصر فلزية أخرى مثل الرصاص والنحاس والكالسيوم والحديد. أملاح الزنك قليلة الزوبان في الماء هي الأكسيد والكبريتيد والكاربونات، بينما أملاح الزنك القابلة للزوبان في الماء من الكلوريدات والكبريتات تمثل السلي التحلل لتكوين أيون وكسيد الزنك و كربونات الزنك. لذلك فانه عادة مايكون تركيز الزنك منخفضا في المياه الطبيعية، كما يزيد من نقص مستويات الزنك المذاب الامصاص على الرواسب. وقد يكون تركيز الزنك في ماء الصنبور أعلى بشكل واضح عن تركيزه في المصادر العذبة للمسطحية بسبب تآكل الزنك من المواسير المختلفة في الشبكة والنحاس الأصفر والذي يتكون من ٣٠% زنك ٧٠% نحاس. ويختلف تركيز الزنك في ماء الصنبور بين ٠,٠١ الى ١ ملجرام / لتر وللزنك أهميته الغذائية. أغنى الأطعمة في الزنك هي اللحوم ونواتج الألبان كما تمثل الحبوب والبنودق مصادر هامة. وفيما يلي محتوى الزنك في بعض الأطعمة:

- لحم البقر والضأن ٢٠ - ٦٠ جزء في المليون.
- اللبن ٣ - ٥ جزء في المليون.
- الأسماك و الأطعمة البحرية أكثر من ١٥ جزء في المليون.
- البقول و القمح ١٥ - ٥٠ جزء في المليون.
- الخضراوات الورقية والفواكه أقل من ٢ جزء في المليون.

والطعام هو المصدر الأكبر لحاجة الإنسان للزنك فهو عنصر ضروري للإنسان والحيوان. يقرر مدخول الزنك الغذائي الموصى به حسب العمر والجنس بين ٤ - ١٥ ملجرام في اليوم ويحتاج الحوامل إلى ١٦ ملجرام في اليوم. وقد لوحظ وجود علاقة بين نقص الزنك بين الشباب في مصر وبطئ النمو والعلامات الأخرى لعدم النضج بالإضافة الى فقر الدم وربما يكون السبب في ذلك انخفاض الامتصاص المعوي للزنك. والزنك لا يتراكم في الأنسجة ويمكن اعتبار الزنك غير

سام ومن غير المحتمل حدوث سمية للإنسان بالزنك من مياه الشرب والمصادر الغذائية الأخرى العادية.

والجرعات العالية اليومية من الزنك التي تبلغ ١٥٠ جرام تتداخل مع المدخول اليومي من جرعات الحديد والنحاس ولا توجد مشكلة. كما تقدم بعض جرعات الزنك العالية بعض الحماية لآراء التأثيرات السامة للكاديوم. وتشمل أعراض التسمم بالزنك في الإنسان القيء والجفاف وآلام البطن والغثيان والافتقار إلى التوازن العضلي العصبي. وقد أبلغ عن فشل كلوي حاد سببه كلوريد الزنك. والزنك يعطى للماء مذاقاً قابضاً غير مستساغ، بالإضافة إلى أنه يضيف عتامة للماء المحتوى على أكثر من ٥ ملجرام / لتر ويكون طبقة طافية عند غلى الماء. ولتجنب أى من هذه المشكلات حددت القيمة الدليلية للزنك فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى ٥ ملجرام / لتر.

## ٦- العسر الكلى: ٥٠٠ ملجرام / لتر ككربونات كالسيوم

عسر الماء قياس تقليدى لقدرة الماء على التفاعل مع الصابون إذ يتطلب الماء العسر مقداراً كبيراً من الصابون لانتاج الرغوة. ويرجع وجود ترسيبات (Scales) فى مواسير السخانات والمراجل إلى الماء العسر. ويسبب عسر الماء وجود أيونات العناصر متعددة التكافؤ المذابة فيه مثل الكالسيوم والمغنسيوم كما تسهم كذلك أيونات الأمترنشيوم والحديد والمنجنيز والباريوم. ويقاس العسر عادة بتفاعل أيونات العناصر متعددة التكافؤ الموجودة فى الماء مع عامل استخلاص (Chelating Agent) مثل مادة EDTA ويعبر عنها بتركيز مكافئ من كربونات الكالسيوم. كما يمكن تعيين العسر بتعيين تركيزات مكونات العسر منفردة حيث يعبر عن مجموعها بالكمية المكافئة من كربونات الكالسيوم. وقد صنفت درجة عسر الماء المستخدم للشرب من حيث المكافئ من تركيز كربونات الكالسيوم على النحو التالي.

- ماء يسر من صفر - ٦٠ ملجرام / لتر (عسر مقيم ككربونات الكالسيوم).
- متوسط العسر من ٦٠ - ١٢٠ ملجرام / لتر (عسر مقيم ككربونات الكالسيوم).
- عسر من ١٢٠ - ١٨٠ ملجرام / لتر (عسر ككربونات الكالسيوم).
- عسر جدا من ١٨٠ فأكثر ملجرام / لتر (عسر ككربونات الكالسيوم).

وعلى الرغم من أن العسر يسبب الكاتأيونات (Cations) فإنه يناقش كذلك من حيث العسر المؤقت للكربونات والعسر المستديم للغير كربونات (Permanent Non Carbonate Hardness) ويشير العسر المؤقت للكربونات إلى مقدار الكربونات والبيكربونات في المحلول الذي يمكن ترسيبه أو إزالته بغلى الماء. وهذا النوع من العسر هو المسئول عن الترسبات في مواسير الماء الساخن والغلايات. والعسر المستديم من كبريتات وكوريدات وسيليكات الكالسيوم والمغنسيوم ونترات الكالسيوم أو أيونات العناصر ثنائية التكافؤ والتي لا تزال بغلى الماء. القلوية هي قدرة السدء فى الماء (Buffering Capacity) وتربط ارتباطا وثيقا بالعسر. والقلوية تنتج عادة عن أيون الأيدروكسيد والبيكربونات والكربونات كما تسهم أيونات أخرى إن وجدت مثل البورات والفوسفات والسيليكات والأحماض العضوية بدرجة صغيرة. ويعبر عن الآن أيونات (Anions) التى تسهم فى قلوية الماء مهما كان نوعها بالكمية المكافئة من كربونات الكالسيوم. وحين تكون قلوية المياه السطحية بسبب وجود كربونات وبيكربونات فإن قيمة القلوية الكلية تكون عادة قريبة من قيمة العسر. والمصدر الرئيس لعسر الماء هو الصخور الرسوبية وعادة ما يوجد الماء العسر فى مناطق بها تكوينات من الحجر الجيري. المياه الجوفية أكثر عسرا بوجه عام من المياه السطحية. وعادة ما تكون للمياه الجوفية الغنية بحامض الكربونيك (ثانى اكيد الكربون المذاب فى الماء) قدرة على الإذابة للتربة والصخور من الجبس والحجر الجيري والدولوميت والكالسيت. والمصادر الأخرى للعسر هى الصناعات الكيميائية الغير عضوية، حيث يستخدم لكسيد الكالسيوم فى صناعة بعض مواد البناء وإنتاج لب الورق، وتكرير السكر ودباغة الجلود ومعالجة المياه. ويزال العسر من المياه للأغراض الصناعية أو لإنتاج البخار بالمعالجة الكيميائية بطريقة الجير/الصودا (Soda-lime process). أو بالتبادل الأيوني. عسر المياه فى المجارى السطحية العذبة عموما يشبه العسر فى مياه الشرب المنقولة بالمواسير إلى المستهلك فى المنازل. يتراوح عسر المياه ما بين ١٠٠ ملجرام/ لتر إلى ما يزيد عن ٥٠٠ ملجرام/ لتر وإن كانت القيمة أكبر من ذلك غير شائعة.

وفى الطعام فإن جميع الأطعمة تحتوى على عنصرى الكالسيوم والمغنسيوم. الغذاء النمطي يوفر حوالي ١٠٠٠ ملجرام كالسيوم فى اليوم و من ٢٠٠ - ٤٠٠

مليجرام ماغنسيوم في اليوم. وعادة ما يكون المصدر السائد للكالسيوم والمغنسيوم هو الطعام. وتعتبر منتجات الألبان مصدرا غنيا للكالسيوم أما المغنسيوم فانه أكثر إقتراناً بالحوم والمواد الغذائية ذات الأصل النباتي. على الرغم من إن الهواء والتعرض المهني وتدخين السجائر يمثل مخلا لتعرض الإنسان إلا أن إسهاماتها قليلة جدا مقارنة بالطعام. الطعام والماء هما المصدران الأساسيان. ويمثل الإسهام النموذجي للماء بالنسبة للمدخل الكلي من الكالسيوم حوالي ٥ - ٢٥ % وللمغنسيوم حوالي ٥ - ٢٠ %.

ومن ناحية الأثر الصحي فهناك شواهد حول زيادة العسر في مياه الشرب وزيادة حالات الحصوات البولية وكذا الوفيات بالسكتة القلبية وأمراض الأوعية الدموية إلا إن نتائج تأكيد هذه الدراسات لم تحسم حتى الآن، وقد يفترض ان الماء اليسر هو الذي يسبب المرض نظرا لانه يساعد على التآكل في المواسير ووصول الملوثات من نواتج لتآكل الضارة مثل الرصاص والكلوريم. وعموما مازالت الدراسات التي تقوم بها منظمة الصحة العالمية حول الأثر الصحي لعسر الماء والتي لم يتأكد أى منها حتى الان وقد أعطيت قيمة دليله للعسر الكلي ٥٠٠ مليجرام / لتر ككربونات كالسيوم. للكالسيوم ٢٠٠ مليجرام / لتر و للمغنسيوم ١٥٠ مليجرام / لتر. ومعايير العسر التي أصدرتها وزارة الصحة هي ٥٠٠ مليجرام / لتر. وعلى الرغم من ان ٢٠-٣٠ % من الكالسيوم والمغنسيوم فى الغذاء يتم إمتصاصه إلا أنه لم يتأكد حتى الان قدر الإمتصاص لهذه العناصر من مياه الشرب.

## ٧ - الكبريتات: ٤٠٠ مليجرام / لتر

معظم الكبريتات تنوب في الماء بإستثناء كبريتات الباريوم والرصاص والاسترينسيوم ويمكن أن تختزل الكبريتات الى الكبريتيد وتتطاير في الهواء على هيئة كبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) أو ترسب كملح كبريتيد غير مذاب. وتصل الكبريتات الى البيئة للمائية من مخلفات الصناعات المختلفة. ويساعد على احتواء الماء من الكبريتات ثنائي اكسيد الكبريت الناتج عن احتراق الوقود من الفحم



الحجري أو من بعض العمليات في الصناعات المعدنية والذي يتأكسد إلى ثالث أكسيد الكبريت الذي يتحد مع بخار الماء في الجو مكونا حامض الكبريتيك ويساقط كمطر حامضى الذى يتفاعل مع المواد العالقة ليكون أملاح الكبريتات، وتركيز الكبريتات في معظم المياه العذبة منخفض جدا ويتراوح ما بين ٢٠ إلى ٥٠ جزء فى المليون. ويمكن ان تصيف كبريتات الألومونيوم (الشبة) او كبريتات الحديدك او الحديدوز من ٢٠ الى ٥٠ جزء فى المليون الى المياه المعالجة. والكبريتات لاتزال من الماء بالطرق التقليدية لمعالجة المياه. وقد يبلغ / تركيز الكبريتات فى المياه المعدنية المعبأة فى زجاجات الى ٢٥٠ ملجرام / لتر او تزيد. والمنخول الغذائى اليومى من الغذاء شحيح حيث يبلغ فى المتوسط ٤٠٠ جرام. وجرعة الكبريتات من ١ - ٢ جرام لها تأثير مسهل للإنسان. ويؤدى تركيز كبريتات المغنيسيوم ١٠٠٠ ملجرام / لتر إلى الإسهال فسيولوجيا للشخص العادي والتركيز الأقل من ذلك غير ضار فسيولوجيا. والشخص الحساس يستجيب لمستويات من كبريتات المغنيسيوم ٤٠٠ ملجرام / لتر ويتكيف الجسم البشرى بمرور الوقت مع التركيزات العالية من الكبريتات فى مياه الشرب. وتركيز الكبريتات الذي يؤثر على الاستساغة والمذاق لمياه الشرب هو ٢٠٠ - ٥٠٠ ملجرام/لتر لكبريتات الصوديوم، ٢٥٠ - ٩٠٠ ملجرام / لتر لكبريتات الكالسيوم، ٤٠٠ - ٦٠٠ ملجرام/لتر لكبريتات المغنسيوم. واقتُرحت تركيزات الكبريتات فى المياه الشرب لتكون ٤٠٠ ملجرام/لتر استنادا إلى المحافظة على الاستساغة والمذاق وتجنباً لتأثيرها المسهل.

المياه المحتوية على أملاح الكبريتات بتركيز أكثر من ٣٠٠ ملجرام / لتر قد تختزل هذه الكبريتات فى حالة نقص الأكسجين المذاب فى الماء عن ١,١ ملجرام /لتر والذي يساعد على نشاط البكتريا اللاهوائية المختزلة للكبريتات وتكون نواتج الاختزال هى كبريتيد الهيدروجين الذى يذوب فى الماء محدثا تغير غير مقبول فى رائحة وطعم المياه. وعند توفر الأكسجين بعد ذلك يتحول كبريتيد الهيدروجين إلى حامض الكبريتيك الذى يسبب التآكل للمواسير المعدنية والاسمنتية. ولهذا يلزم المحافظة دائما على وجود الأكسجين فى الماء من خلال المحافظة على معدل ثابت لتدفق المياه فى الشبكة وعدم وجود نهليات ميتة أو مياه راكدة فى الشبكة هذا

بالإضافة الى أهمية وجود الكلور المتبقى فى الشبكة ما يوفر قدر لا يقل عن ٠,١ مليجرام / لتر كلور متبقى فى صنوبر اخر ممتهلك فى الشبكة. وهذا الكلور المتبقى يضمن للقتل للكائنات الجرثومية وكذلك انواع البكتريا المختزلة للكبريتات. كما يلزم المحافظة على نظافة خزانات لمياه من الاتربة والأجسام العالقة والملاصقة لجسم الخزان والتي تعلق بها البكتريا وتختبئ بما يقلل من تأثير الكلور فى التخلص منها. ونسبة ٣٠٠ مليجرام /لتر من الكبريتات فى التربة الرطبة تشكل مجال عنوانى اكيد لإفتقار التربة للاكسجين (التربة الطينية والطفليه) بما ينشط البكتريا المختزلة لكبريتات وتسبب لتآكل للمواسير.

## ٨- الكلوريدات : ٥٠٠ جزء فى المليون

توجد الكلوريدات على نطاق واسع فى الطبيعة وتكون عادة فى شكل كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم. والكلوريدات تشكل ٠,٠٥ % تقريبا من اليابسة والنسبة الكبيرة من كلوريدات البيئة توجد فى المحيطات. ويرجع وجود الكلوريد فى الماء الى إذابة رواسب الملح والتلوث الناتج عن الصناعات الكيمائية ومياه الصرف الزراعى والصحى وتسرب مياه البحر فى المناطق الساحلية. ويمكن ان تتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية لسهولة حركة ايونات الكلوريدات بما يمكنها من الانتقال الى قاع للخزانات الجوفية. والكلوريدات فى المياه السطحية منخفضة التركيز حيث يمكن ان يصل تركيزها الى أقل من ٥٠ مليجرام / لتر فى المياه الغير ملوثة بينما قد تصل الى ١٠٠٠ مليجرام/لتر فى مياه الصرف الملوثة. وتوجد الكلوريدات فى الأطعمة ذات المنشأ النباتى والحيوانى بمستويات نقل عادة عن ٣٦٠ جزء فى المليون. ويمكن ان يزيد اضافة الملح الى الطعام من مستوى الكلوريدات بشكل واضح. ومدخول الكلوريد اليومى يسبب اضافة الملح الى الطعام من ٦ - ١٢ جرام بينما مدخول الكلوريد من مياه الشرب ١٠٠ مليجرام تقريبا فى اليوم اما المدخول من الهواء فإنه لا يذكر. والكلوريدات تسهم بشكل كبير فى النشاط الاسموزى (التناضحى) للمائل خارج الخلايا حيث يوجد ٨٨% من كلوريد للجسم خارج الخلايا. ويحتوى جسم الشخص

العادى الذى وزن ٧٠ كجم على ٨١,٧ جرام تقريبا من الكلوريد، ٤٥ لىترًا من الماء. وامتصاص الكلوريد يكاد يكون كاملا فى جسم الإنسان.

من الضرورى ان يكون المدخول الغذائى لليومى من الكلوريدات حوالى ٩ مليجرام لكل كيلو من وزن الانسان بما يعادل ٦٣٠ مليجرام للشخص الذى وزن ٧٠ كيلو جرام وبما يعادل أكثر من جرام واحد للشخص العادى فى اليوم.

يبلغ حدود المذاق المستساغ لكلوريد الصوديوم ٢١٠ مليجرام / لتر ولكلوريد البوتاسيوم ٣١٠ مليجرام / لتر ولكلوريد الكالسيوم ٢٢٢ مليجرام / لىتر. ويتأثر مذاق القهوة بصفة خاصة إذا أعدت بماء به ٤٠٠ مليجرام / لىتر ككلوريد صوديوم أو ٥٣٠ مليجرام / لتر ككلوريد كالسيوم. وعمليات المعالجة التقليدية لا تزيل أيونات الكلوريد من الماء وعلى الرغم من ان مقدار الكلوريد المتناول يوميا من مياه الشرب لايمثل سوى نسبة قليلة من مجموع المدخول اليومى. فانه يوصى بقيمة دليله مقدارها ٢٥٠ مليجرام / لتر استنادا الى اعتبارات المؤثرات العضوية. وتشكل الكلوريدات فى الماء عنوانية على المواسير المعدنية وخاصة الصلب والزهر فى حالة زيادة الكلوريدات عن ٦٠٠ جزء فى المليون حيث تسبب التآكل الثقى. والكلوريدات توفر الحماية من التآكل للمواسير الخرسانية.

## ٩-الصوديوم: ٣٠٠ مليجرام / لتر

نتج عن زيادة تلوث المياه السطحية والجوفية خلال العقود الماضية زيادة ملموسة فى محتوى مياه الشرب من الصوديوم. كما يمكن ان تسهم فى زيادة مستويات الصوديوم فى مياه الشرب عمليات المعالجة لازالة العسر من المياه باستخدام الصودا آش، وكذلك تلوث مصادر المياه بمياه الصرف المحتوية على كبريتات الصوديوم من صناعات الأصباغ والألون ولب الورق والورق وصناعات أخرى كثيرة تحتوى مخلفاتها على تركيزات متزايدة من الصوديوم. كما يستخدم ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) فى كثير من للصناعات الغذائية والأطعمة وفى تعبئة اللحوم وصناعات الألبان والأسماك. الصوديوم هو اكثر العناصر القلوية وفرة. تحتوى التربة على الصوديوم فى الحدود ١-١٠ جرام/ كيلو جرام فى شكل

أملاح سيليكات الصوديوم مثل الفيلدسبار. و بعض الخزانات الجوفية تحتوى على تركيزات عالية من الصوديوم بما يزيد من ملوحتها وذلك فى التربة الحاملة للمحبة نتيجة شدة زوبان أملاح الصوديوم فى الماء. ويوجد فى المجارى السطحية العذبة بنسب تتراوح ما بين ١٠ - ١٣٠ ملجرام / لتر. ويوجد الصوديوم فى جميع الأطعمة وفى تجهيز الطعام، فالبازلاء الطازجة تحتوى على ٩ ملجرام صوديوم فى الكيلو جرام بينما نقل هذه النسبة فى المعلبة والجافة. وتحتوى الخضروات والفواكة الطازجة على نسب ما بين ٠,٠١ - ١ جرام / كيلو جرام. وتحتوى الحبوب وأصناف الجبن على ما بين ١٠ - ٢٠ جرام / كيلو جرام. ويتحقق ضبط توازن الماء والصوديوم من خلال سلسلة من العمليات المعقدة حيث يتم الحفاظ بفقد الصوديوم وليس بضبط امتصاصه خلال الأمعاء. ونظرا لأن الجسم يقوم بضبط مستويات الصوديوم فإنه لا يعتبر عنصر حاد السمية. وتشمل أعراض التسمم بالصوديوم التأثير العمومي للجهاز العصبي المركزي وزيادة الحساسية. وهناك دراسات تبين وجود علاقة بين مدخول الصوديوم وارتفاع ضغط الدم فى الانسان ويؤكد هذا أطباء القلب وأن كل ذلك دراسات تخالف ذلك. ويعتبر مدخول الصوديوم اليومى ١,٦ - ٩,٦ جرام عموما لا يحدث أى تأثير ضار على صحة الإنسان. ولضمان أن تكون مياه الشرب مستساغة بالنسبة لغالبية المستهلكين فإنه ينبغى أن يكون تركيز الملح فى الماء مقارباً لتركيز الملح فى اللعاب والذى يبلغ فى المتوسط ٣٠٠ ملجرام / لتر. ويعتمد حدود الطعم والاستساغة لأملاح الصوديوم فى مياه الشرب على الأيونات (Anions) ودرجة حرارة الماء. كربونات الصوديوم هى صاحبه أعلى مستوى تركيز بالنسبة للاستساغة، فعند درجة حرارة الغرفة تكون فى حدود ٢٠ ملجرام / لتر، لكلوريد الصوديوم ١٥٠ ملجرام / لتر، لنترات الصوديوم ١٩٠ ملجرام / لتر، لكبريتات الصوديوم ٢٢٠ ملجرام / لتر، لبيكربونات الصوديوم ٤٢٠ ملجرام / لتر. والقيمة الدليلة الموصى بها هى ٢٠٠ ملجرام / لتر ولتي تستند الى حدود المذاق والاستساغة وليس الى اعتبارات صحية. وإذا كانت جمعية القلب الأمريكية قد أوصت بتركيز ٢٠ ملجرام / لتر مما يتطلب معالجات خاصة للمياه من المجارى السطحية العذبة مثل إزالة الملوحة،

حيث اعتبر من المواد ذات الأثر بالصحة العامة وليس ذات الأثر بالاستساعة كما أوصت به منظمة الصحة العالمية.

### ١٠- الألومنيوم: ٠,٣ ملليجرام / لتر

توجد مركبات الألومنيوم بوفرة في الطبيعة وكثيرا ما توجد في الماء. وتستخدم مركبات الألومنيوم على نطاق واسع في معالجة مياه الشرب بالمرشحات لإزالة المواد العالقة والعكارة، ومدخول الألومنيوم من الماء صغير إذا قورن بمدخوله من الطعام. ويزيد الألومنيوم في الماء من تغير لون المياه في شبكة التوزيع إذا زاد مستوى الألومنيوم عن ٠,١ ملليجرام / لتر من المياه للمعالجة ولهذا يوصى بقيمة قليلة في مياه الشرب لا تزيد عن ٠,٢ ملليجرام / لتر إستناداً الى اعتبارات خاصة بقبالية واستساعة المياه للشرب. الألومنيوم موزع على نطاق واسع في الطبيعة حيث يدخل في تكوين جميع انواع التربة والنباتات وانسجة الحيوان ونتيجة لهذا يوجد الألومنيوم في الهواء والطعام والماء سواء الطبيعي منها أو الملوث، وتحتوى المياه للامضية بشكل طبيعي على مستويات عالية من الألومنيوم. وعلى الرغم من أن عمليات معالجة المياه تترك أقل مقدار ممكن من الألومنيوم في الماء إلا أن بعضها يبقى في الماء بكميات تتراوح ما بين ٠,١ إلى ٢ ملليجرام / لتر وطبقا لكفاءة عمليات المعالجة والترسيب والترشح. ومن مظاهر ضعف الكفاءة لعمليات المعالجة بالمرشحات زيادة الألومنيوم في المياه المرشحة عن ٠,٣ ملليجرام / لتر. وفي شبكة التوزيع ترسب مركبات الألومنيوم وتتدمج مع مركبات الحديد والسيلكا محدثة إضطراب في تنفق المياه في الشبكة وضعف التصرف بالاضافة إلى التغير في اللون ومذاق المياه نتيجة إحتواء هذه الرواسب على البكتريا حيث يتعذر عندئذ قتلها بالكلور. وتحدث هذه الظاهرة عند تجاوز تركيز الألومنيوم ٠,١ ملليجرام / لتر في المياه المعالجة.

ولايسهم الألومنيوم في مياه الشرب إلا بنسبة صغيرة جدا من المدخول اليومي للإنسان حيث النسبة الأكبر تكون من الطعام. ويقدر المدخول اليومي من الغذاء بـ ٨٠ ملليجرام في اليوم، ومن الماء ٤% من المخول اليومي من الغذاء. والألومنيوم

غير ضروري للإنسان فلا تمتص أملاح الألومنيوم عادة في الطعام ولكنها تكون مركبات معقدة مع الفوسفات وتفرغ مع البراز. والاستعمال المزمن لكميات كبيرة من الألومنيوم (مثل إيندركوسيد للألومنيوم المضاد للحموضة) يتسبب في فقد الفوسفات من الجسم بما يعمل على ضعف وآلام العظام. والألومنيوم لا يتراكم في الانسجة باستثناء العظام في حين تتراكم مركبات الألومنيوم المستنشقة في شكل غبار في الرئة والعقد الليمفاوية.

وقد اقترن الألومنيوم ببعض الاضطرابات العصبية مثل مرض الزهايمر الذي يصيب كبار السن بفقد الذاكرة، إلا أنه لم يتأكد إذا كان الألومنيوم هو السبب أم أنه عامل مساعد لأسباب أخرى. والقيمة الدلالية الموصى بها لتركيز الألومنيوم لمياه الشرب هي ٠,٢ ملليجرام / لتر وإن كانت وكالة البيئة الأمريكية قد أوصت بقيمة دلالية ٠,٠٥ ملليجرام / لتر لتأكيد إزالة مواد الترويب من الألومنيوم (الشبة) قبل دخول المياه إلى الشبكة.

جدول (٢) القيم الدلالية والمعايير للمواد غير العضوية ذات التأثير على الاستساغة

#### والاستخدامات المنزلية

| م  | الخاصية                | دلائل منظمة الصحة العالمية | المعايير التي أصدرتها وزارة الصحة                                |
|----|------------------------|----------------------------|--|
| ١  | الأملاح الكلية الذائبة | ١٠٠٠ ملليجرام / لتر        | ١٢٠٠ ملليجرام / لتر  |
| ٢  | الحديد                 | ٠,٣ ملليجرام / لتر         | ٠,٣ ملليجرام / لتر للمياه المرشحة، ١ ملليجرام / لتر لمياه الآبار |
| ٣  | المنجنيز               | ٠,١ ملليجرام / لتر         | ٠,١ ملليجرام للمياه المرشحة                                      |
| ٤  | النحاس                 | ١ ملليجرام / لتر           | ١ ملليجرام / لتر   |
| ٥  | الزنك                  | ٥ ملليجرام / لتر           | ٥ ملليجرام / لتر   |
| ٦  | العسر الكلي            | ٥٠٠ ملليجرام / لتر         | ٥٠٠ ملليجرام / لتر   |
| ٧  | الكالسيوم              | ---                        | ٢٠٠ ملليجرام / لتر   |
| ٨  | المغنيسيوم             | ---                        | ١٥٠ ملليجرام / لتر   |
| ٩  | الكبريتات              | ٤٠٠ ملليجرام / لتر         | ٤٠٠ ملليجرام / لتر   |
| ١٠ | الكوريات               | ٢٥٠ ملليجرام / لتر         | ٥٠٠ ملليجرام / لتر   |
| ١١ | الألومنيوم             | ٠,٢ ملليجرام / لتر         | ٠,٢ ملليجرام / لتر   |

## القسم الثالث

### المواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة

#### ١- الرصاص : ٠,٠٥ ملليجرام / لتر :

يوجد الرصاص فى الطبيعة ضمن مكونات القشرة الأرضية بتركيز متوسط ١٦ جزء فى المليون ويكون غالبا فى شكل كبريتيد الرصاص. ويوجد الرصاص فى الشكل الغير عضوي عموما (فى البيئة فى الهواء والطعام والماء والتربة). كما يحدث تلوث نتيجة عمليات التعدين والصهر أو استعمال المنتجات المصنوعة من الرصاص. وتنتج مقادير صغيرة من الرصاص العضوي نتيجة استعمال الجازولين المحتوى على الرصاص نتيجة عمليات الألكلة (Alkylation) التي تنتج ميثيل الرصاص. ويستخدم الرصاص فى صناعة مراكم الأحماض ومواد اللحام والاصباغ والذخيرة وتغليف الكابلات وعازل للأسقف وصناعة مواسير الصرف وفى توصيل المياه من البريزة (Saddle) المركبة على ماسورة التغذية الى وصلة المياه بالمنزل وذلك لسهولة تشكيلها وتم إيقاف استخدامها لأسباب بيئية واستبدلت بوصلات من البلاستيك الأقل فى التكلفة. ومحتوى المياه الطبيعية فى المحارى السطحية العذبة من الرصاص يتراوح بين ١ - ١٠ جزء فى المليون. المعالجة بالمروبات تزيل نسبة كبيرة من املاح الرصاص بما يقلل من نسبة فى المياه المعالجة عن الموجود فى المياه الطبيعية. ولكن يمكن أن تصل الملوثات من املاح الرصاص من خلال شبكة توزيع للمياه عند استخدام مواسير من الرصاص أو اللحام باستخدام الرصاص. عندئذ يزداد تركيز الرصاص فى الماء المعالج

وخاصة عندما يقل عسر المياه أو ينخفض الرقم الهيدروجيني. وعلى أساس استهلاك لترين من الماء في اليوم فإن المدخول اليومي من الرصاص يتراوح ما بين ٠,٠٢ الى ١ ملليجرام / لتر على أساس استهلاك جميع الرصاص.

وعند استعمال الماء في الطهي تكون فرصة اضافية لتناول الرصاص من الماء. ويوجد الرصاص في كثير من المواد الغذائية وخاصة المعلبة عند استخدام اللحم من الرصاص كما يوجد للرصاص في الخضروات الطازجة والحبوب والفواكه بمقادير صغيرة طبقا لتركيز الرصاص في التربة والامتصاص المحدود بواسطة النبات. وقد يوجد الرصاص في المواد الغذائية نتيجة ترسيبات الرصاص من الهواء الجوى عند تركها معرضة وخاصة الالبان ومنتجات الالبان. ويمكن أن يحدث تلوث إضافي من الطعام عند الطهي في أواني بها لحامات من الرصاص أو الآنية الخزفية التي يدخل الرصاص في صنعها. ولذا فإن المصدر الأكبر للرصاص بصفة عامة هو الطعام. وفي الريف تكون تركيزات الرصاص في الهواء حوالي ٠,١ ملليجرام / م<sup>٣</sup> بينما تصل في المدينة من ٠,٥ إلى ٢ ملليجرام / م<sup>٣</sup>. ويرجع تلوث الهواء بالرصاص إلى كثافة حركة مرور السيارات المستخدمة للجازولين المحتوي على الرصاص. معظم الرصاص الموجود في الهواء يكون على شكل جسيمات دقيقة وعند استنشاق هذه الجسيمات لايرسب منها في الجهاز التنفسي سوى ٢٠ - ٦٠%. وعلى أساس حجم تنفس يومي من الهواء قدره ٢٠م<sup>٣</sup> في المتوسط يكون المدخول اليومي لسكان المدينة المعرض لواحد ملليجرام / م<sup>٣</sup> من الرصاص في اليوم وبمعدل إمتصاص ٤٠% هو ٨ ملليجرام. ويمكن أن تكون مستويات الرصاص في مناطق العمل الصناعي أعلى كثيرا عن مستويات البيئة العامة. مصدر التعرض للرصاص من التبغ صغير نسبيا. وقد عرفت الجرعات العالية من الرصاص بأنها سم تراكمي عام. ومن أعراض التسمم الحاد التعب والإنهاك والتوعك المعوي وفقر الدم والرصاص يتدخل في تنظيم نقل الأكسجين وتحقيق الطاقة، وترتبط زيادة الرصاص في الدم طبقا لمستوى الرصاص في مياه الشرب. كما وجد أن مستويات الرصاص العالية في الدم (٤٠٠ ملليجرام /لتر) في الأطفال نوى التخلف العقلي.



والرصاص يؤثر على تكوين الدم والجهاز العصبي والكلوى والقلبي والتناسلى ولم يثبت للرصاص ضرورة لقيام الأجهزة الحيوية بوظائفها مما يتطلب أن يكون التعرض للرصاص منخفضاً قدر الإمكان وبما لا يتعدى ٣ ملجرام فى الأسبوع (بمعدل ٠,٠٥ ملجرام / كيلو جرام من وزن الانسان) وتقل هذه النسبة للأطفال نظراً للنمو السريع وأن امتصاص الرصاص لديهم أعلى عما هو عند البالغين وأنهم أكثر استعداداً للتأثر. والرصاص يسبب ارتفاع فى ضغط الدم مع احتمال انه مسرطن عند الجرعات العالية وقد أوصت وكالة البيئة الأمريكية (usepa) بأقصى مستوى للتلوث بالرصاص ٠,٠١٥ ملجرام / لتر فى مياه الشرب وأن كانت منظمة الصحة العالمية قد أقرت نسبة ٠,٠٥ ملجرام / لتر وهى المعايير المأخوذة بها فى مصر.

### ٣- الزرنيخ: ٠,٠٥ ملجرام / لتر

يوجد الزرنيخ بشكل طبيعي فى جميع الأوساط البيئية وعادة ما يوجد فى شكل مركبات متحدة مع الكبريت ومع فلزات كثيرة عند صهر خاماتها وخاصة خام النحاس والكوبالت والرصاص والزنك. وقد يوجد للزرنيخ فى مجارى المياه نتيجة النحر فى الصخور السطحية.

ويبلغ تركيز الزرنيخ فى القشرة الأرضية ٢ جزء فى المليون. ويوجد الزرنيخ فى شكل الغير عضوى أو قد يكون متحداً مع مركبات عضوية. كثيراً من مركبات الزرنيخ تتوابع فى الماء وتلوثه. الزرنيخ موجود فى معظم المواد الغذائية بتركيز أقل من واحد جزء فى المليون من وزنها الجاف وإن كانت الاسماك البحرية تحتوى على مستويات اعلى من ذلك فقد يحتوى المحار على مستويات تزيد عن ٥٠ جزء فى المليون. ويوجد الزرنيخ فى الاطعمة البحرية أساساً فى شكل عضوى ويصل المدخول اليومي من المصادر الغذائية فى المتوسط ٣٠ جزء فى المليون من وزن الانسان. يحتوى الهواء فى المناطق الريفية وغير الحضرية على مستويات منخفضة جداً من الزرنيخ أقل من ٠,٠١ ملجرام / م<sup>٣</sup>. وقد يبلغ متوسط التعرض للزرنيخ المنقول بالهواء ٠,٢ ملجرام / م<sup>٣</sup> على شكل زرنيخ غير

عضوى أساساً كما تزداد مستويات للتعرض للزرنିخ من الهواء والتربة حيث توجد مصانع صهر المعادن. ويحتوى التبغ على بعض الزرنينخ وان كانت مستويات الزرنينخ انخفضت الآن نتيجة للتقليل من استخدامه فى رش نباتات التبغ. كما توجد بعض المستحضرات الدوائية المحتوية على الزرنينخ. ومقارنة المدخول الكلى نجد ان اسهام للماء قليل نسبة الى التعرض الشامل فعند مستوى ٠,٠٥ ملليجرام /لتر من مياه الشرب فانه يماوى او يزيد عن اجمالى المدخول عن غير طريق التعرض المهنى.

ويؤثر الشكل الكيمىالى للزرنينخ على امتصاصه، فنرى أن عنصر الزرنينخ يمتص بمعدل منخفض جدا بينما مركبات الزرنينخ للاعضوية ثلاثية وخماسية التكافؤ تمتص بسهولة. وعند التعرض للزرنينخ فانه يدخل إلى الدم ثم إلى الكبد أساسا والكلى والطحال والعضلات والجلاد. كما توجد كميات صغيرة منه فى الرأس والقلب والرحم والدرقية والبنكرياس والشعر والأظافر. إفراغ مركبات الزرنينخ يتم عن طريق البول. لا يوجد دليل حاسم على أن الزرنينخ بأى من أشكاله الكيمىائية ضرورى للإنسان وان كانت بعض مركباته مفيدة لنمو الحيوانات. وتتوقف كمية الزرنينخ على الشكل الكيمىائى والفيزيائى للمركب وطريقة دخوله إلى الجسم والجرعة ومدة التعرض والعمر والجنس للفرد المتعرض.

الزرنينخ الغير عضوى لكثير سمية من الزرنينخ العضوى. الزرنينخ الغير عضوى ثلاثى التكافؤ اكثر سمية من خماسى التكافؤ ولذا يوصى عندما يتبين أن الماء يحتوى على زرنينخ بمستويات ٠,٠٥ ملليجرام /لتر التأكد من تكافؤ العنصر الزرنينخى وشكله الكيمىائى، حيث أن الزرنينخ الثلاثى يمكن أن يضعف كثيرا من أجهزة الإنسان.

ويشمل التسمم الحاد بالزرنينخ إصابة الجهاز العصبى المركزى كما يمكن أن يصاب الجهاز الهضمى والعصبى والتنفسى والجلد بإصابات شديدة. ويظهر التسمم مع جرعات تبلغ فى الانخفاض من ٣-٦ ملليجرام /اليوم على مدى فترات طويلة حيث الإصابة بالضعف العضلى العام وفقد الشهية والغثان والتهاب الأغشية المخاطية فى العين والأنف والحنجرة كما يمكن أن تحدث أمراض جلدية وأورام

خبيثة وكذلك الإصابة بسرطان الجلد عند تركيز ٠,٢ ملليجرام /لتر من مياه الشرب.

وتؤدى الجرعات من ٧٠-١٨٠ ملليجرام /لتر إلى الوفاة كما أن التعرض المهنى العالى يسبب الإصابة بسرطان للرئة. ومعايير الزرنيخ فى مياه الشرب هى ٠,٠٥ ملليجرام / لتر.

### ٣- السيانيد: ٠,٠٥ ملليجرام /لتر

يوجد السيانيد حيثما توجد الحياة والصناعة فى شكله العضوى وغير عضوى وأكثر أشكال السيانيد شيوعا هو سيانيد الهيدروجين (HCN) وأملاح السيانيد تتحلل فى الماء لتعطى حامض الهيدروسيانيك. أيون السيانيد يمكن أن يتفاعل ويتحد مع أيونات الفلزات الثقيلة لتكوين مركبات معقدة (Complex) بعضها شديد الثبات. السيانيد يستخدم فى كثير من العمليات الصناعية مثل إنتاج البولى الأكليريك (Polyacrylonitrile) وهى بلمرات لها استخدامات كثيرة كما يستخدم السيانيد فى استخلاص الذهب والفضة كمنظف وفى عمليات الطلاء الكهربى للمعادن بالذهب والفضة وغيرها ويمكن أن يلوث الماء والهواء من خلال هذه العمليات الصناعية كما أن الاستخدام العرضى للسيانيد فى إزادة الهوام يمكن أن يكون مصدرا لتلويث المياه. معظم أملاح السيانيد تذوب فى الماء وكذلك سيانيد الهيدروجين مكونا حامض. وتذوب معادن الذهب والفضة والزرنيق والرصاص فى محلول سيانيد الصوديوم مع امتصاص الأكسجين وكذلك تذوب معادن النحاس والنيكل والحديد والزنك والألمونيوم والمغنيسيوم مع إنتاج هيدروجين. أملاح السيانيد التى تذوب فى الماء هى سيانيد الصوديوم، البوتاسيوم، لكالمسيوم، الذهب. الزرنيق ولكن كلا من سيانيد الفضة وسيانيد للنحاس لا يذوبا فى الماء. تكون أيونات السيانيد مركبات معقدة مع البوتاسيوم والحديد ومع النحاس والحديد ومع بعض الأحماض مثل حامض (Thiocianic Acid-HCNS) ومع الايمترات. ويتحول السيانيد إلى السيانات الأقل سمية بكثير عند رقم هيدروجيني ٨,٥ فأكثر.

ويمكن القول أن السيانيد في الماء الخام منخفض لأقل من ٠,١ ملليجرام / لتر. إلا في حالة التلوث الخطير الذي يرجع إلى صرف مخلفات الصرف الصناعي في المجارى المائية وخاصة صناعات معالجة المعادن والكوك والغاز وغزل الصوف وصناعات كيميائية كثيرة. إضافة الكلور لمياه الشرب يساعد في المجال المتبادل على خفض السيانيد في الماء وعند إضافة جرعات عالية من الكلور عند رقم هيدروجيني منخفض يتحول السيانيد إلى سيانات غير ضارة ثم إلى ثنائي أكسيد الكربون والنيتروجين. تحتوي معظم الأطعمة على آثار من السيانيد وبعضها يحتوي على نسبة مرتفعة وخاصة ذات الأصل النباتي مثل اللوز كما يمكن أن يوجد السيانيد في الأسماك التي تعيش في المياه الملوثة. تتحلل أملاح السيانيد عند التسخين ولذا فإن الأطعمة المطهية تحتوي على مستويات قليلة جداً. المدخول اليومي من السيانيد عن طريق الأطعمة منخفض جداً.

أبون السيانيد يمتص بسهولة وسرعان ما تحدث تأثيرات شديدة السمية والتي تعيق عمليات الأكسدة حيث يثبط امتصاص للخلايا للأكسجين. والتعرض المنخفض للسيانيد ليس مميتاً لمن لديهم جهاز مقاومة قوى لازالة السمية والذي يحول السيانيد إلى اليثو سيانات الغير ضاره مع المستويات المنخفضة من ٢,٩ - ٧,٤ ملليجرام / اليوم. عادة ما تكون جرعة واحدة من ٥٠ - ٦٠ ملليجرام مميتة للإنسان نظراً لأن المدخول اليومي من السيانيد عن طريق الأطعمة منخفض جداً وعلى أساس أن المصدر الرئيسي للسيانيد هو مياه الشرب فقد تحدد معيار السيانيد في مياه الشرب بما لايزيد عن ٠,٠٥ ملليجرام / لتر.

#### ٤- الكاديوم: ٠,٠٠٥ ملليجرام / لتر

يوجد الكاديوم في أنحاء معينة من العالم وبمقادير ضئيلة في القشرة الأرضية. كما يوجد خام الكاديوم والذي يسمى جرينوكيت (Greenockite) بكميات صغيرة مع خام الزنك. وخام الكاديوم يتكون من كبريتيد الكاديوم، كبريتات الكاديوم ويوجد مختلطاً بخام الزنك من كبريتيد الزنك وكربونات الزنك. عادة ماينتج الكاديوم كمنتج ثانوي عند استخراج الزنك.

وقد تزايد استخدام الكاديوم وزادت أهميته خلال النصف الثاني من القرن العشرين، وبذلك بدأ في تلوث البيئة حيث يوجد في التربة والهواء والماء والطعام. والاستعمال الرئيسي للكاديوم هو في صناعة السبائك المعدنية ومواد اللحام وطلاء المعادن وفي مواد الصباغة وصناعة البطاريات وكمثبت لمنتجات البلاستيك. وعادة ماتكون مستويات الكاديوم في إمدادات مياه منخفضة جداً حيث لا توجد سوى مقادير ضئيلة جداً في إمدادات المياه الخام، وفي حالة إرتفاع المستويات بعض الشيء فإن كثيراً من الكاديوم يزال بإستخدام المروبات عند المعالجة بالمرشحات. ويتأثر ذوبان الكاديوم في اطار طبيعة مصدر الكاديوم وحموضة الماء. المياه السطحية المحتوية على ميكرو جرامات قليلة في اللتر تكون نتيجة التلوث بمياه الصرف الصناعي أو من مقابل للقمامة. وتقرن المستويات المرتفعة من الكاديوم في مياه الصنبور بالمواسير المنزلية أو المواسير المجلفة بالزنك وكذلك سبائك اللحام وتآكل مهمات السبائك من الصلب والصلب الذى يدخل الكاديوم فى مكوناتها أو طلائها بما يعطيها اللون الفضى.

وتحتوى مياه الشرب عادة على تركيز منخفض جداً من الكاديوم وإن كانت مياه الابار تحتوى على تركيزات مرتفعة من الكاديوم. ويزداد تركيز الكاديوم فى المياه اليسر وذات الرقم الهيدروجينى المنخفض حيث ان حالة المياه هى التى تساعد على تآكل طلاء المواسير ومادة الجلفنة من الزنك الذى يحتوى على الكاديوم وكذلك معدن الكاديوم من مكونات سبائك الصلب المقاوم وبعض سبائك النحاس والكاديوم المستخدم فى طلاء المهمات المعدنية.

يزداد التلوث مع بطى حركة المياه وزيادة زمن وجودها فى الشبكة. ويتراوح التعرض اليومي للكاديوم عن طريق الماء على اساس استهلاك ٢ لتر فى اليوم الى اقل من واحد ملجرام / لتر او اكثر الا انه يمكن ان يكون جميع الكاديوم غير مستهلك نظرا لانصافه بأسطح الأنية فى اعداد مشروبات معينة مثل الشاي. معظم المواد الغذائية تحتوى على آثار من الكاديوم وتحتوى المحاصيل المنتجة فى التربة الملوثة بالمخلفات الصناعية أو رويت بمياه ملوثة على تركيز أكبر وكذلك لحوم الماشية التى ترعى فى مزارع ملوثة. وكلية الحيوانات وأكبادها تركز الكاديوم

ومن يتناول هذه الأطعمة يتناول جرعات زائدة من الكاديوم. والمحار يميل إلى تكديس الكاديوم، ومصدر إضافي آخر للكاديوم هو سماد الفوسفات.

معظم المواد الغذائية تحتوى على أقل من ١ ملليجرام / كيلو جرام رطب وتتراوح المدخلات الغذائية للمطية من ١٥ - ٦٠ ملليجرام كاديوم فى اليوم. أما عن الكاديوم فى الهواء فيمكن القول بصفة عامة أن مستوياته منخفضة وقد تصل تركيزاته أقل من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٥ ملليجرام / م<sup>٣</sup> تبعاً لوجود الصناعات الباعثة للكاديوم. فقد تصل إلى ٣,٥ ملليجرام / م<sup>٣</sup> للقيم العالية للتلوث. والجسيمات التى ترسب و تحتجز فى الرئة ٢٥ % من الجسيمات الموجودة فى الهواء الجوى.

ويوجد الكاديوم فى التبغ فالسيجارة تحتوى على ١-٢ ملليجرام. و لما كان الكاديوم يتطاير عند درجات الحرارة المرتفعة فإن بعضه يستنشق أثناء التدخين. عادة ما يستنشق ٢-٤ ملليجرام من الكاديوم لكل ٢٠ سيجارة ويحتمل ان يرسب ٥٠ % منها فى الرئتين.

والكاديوم يمتص بسهولة عند تناول فى الغذاء أو الماء أو من خلال الرئتين. ويتأثر الامتصاص الغذائى بعدد من العوامل مثل السن ونقص الكالسيوم والحديد والزنك والبروتين والشكل للكيماوى. الكاديوم المتناول كما هو الحال مع الرصاص من المحتمل أن تؤثر حالة المعدة على الكمية الممتصة كما أن نقص الحديد والكالسيوم والبروتين يزيد من معدل الامتصاص المعدى المعوى. ويتوقف الامتصاص للرئوى على حجم وزويان الجسيمات المحتوية على الكاديوم حيث يحتبس فى الرئة مايقرب من ٥٠ % من الجسيمات التى يبلغ حجمها ٠,١ ميكرومتر بالمقارنة بـ ٢٠ % من الجسيمات التى يبلغ حجمها ٢ ميكرومتر وقدرت نسبة ٢٥ إلى ٥٠ % من الجسيمات تحتبس فى كل من حالات الهواء العام ودخان التبغ.

ونظراً لأن التعرض للكاديوم وارد من الماء والطعام والهواء والتعرض المهنى فقد أوصت منظمة الصحة العالمية ألا يزيد المدخول الأسبوعى من الكاديوم عن ٠,٥ ملجرام للشخص. يدخل الكاديوم الممتص إلى الدم ويتركز فى

أجزاء معينة من الجسم وتعمل الكلى والكبد كمخازن للكلامسيوم (حيث يحتوى هذين العضوين على ٥٠% من الكلامسيوم المتراكم).

والكلامسيوم يزداد تراكمه مع العمر ولقد وجد ان المشيمة تعمل كحاجز فعال الى حد ما للكلامسيوم لهذا فان المواليد يكونون خاليين تماما منه (مايقرب من واحد ملجرام فقط) بينما من هم في الخمسينيات يمكن ان يخزنوا في اجسامهم ٥٠-٦٠ ملجرام. وعادة ما تكون مستويات الدم اقل من ٢٠ ملجرام في لتر بالنسبة لغير المدخنين، وعملية إفراغ للكلامسيوم بطيئة عادة وتتم عن الطريق البول اساسا. وعن التأثيرات الصحية فقد ظهرت تأثيرات حادة حينما تلوث الطعام عند استخدام الآنية المطلية بالكلامسيوم وهذه التأثيرات هي امراض معدية ومعدية شديدة. وتاكدت للتأثيرات الصحية بالنسبة للعمال المعرضين لأبخنة وغبار اكسيد الكلامسيوم حيث ظهرت حالات التهاب في القصبة الهوائية وفقر الدم وحصولات في الكلى نظروا لان الكلى هي العضو الاساسي لتراكم الكلامسيوم في جسم الانسان.

وتتقرن التأثيرات الكلوية للتسمم بظهور البروتين والسكر والاحماض الامينية في البول، كما ان هناك دلائل على حدوث ضغط الدم المرتفع بعد تعرض غذائى منخفض طويل المدى، وكما ان الكلامسيوم في مياه الشرب يقلل من امتصاص الحديد في المعدة والامعاء. والتعرض الشديد للكلامسيوم والممتد يشكل خطرا متزايدا للاصابة بسرطان البروستاتا ولقد اتفق فريق دراسة لمنظمة الصحة العالمية على قبول قيمة ١٠ ملجرام / لتر في الدم كمستوى لعدم حدوث تأثير ضار، وهذا يتطلب ألا يزيد مدخول الكلامسيوم للشخص البالغ في اليوم عن ٥٠-٧٠ ملجرام. وقد قدرت الجرعة المميتة بعدة مئات من المليجرامات. وقد أوصى ألا يزيد محتوى الكلامسيوم في مياه الشرب عن ٠,٠٠٥ ملجرام / لتر.

## ٥- السيليونيوم: ٠,٠١ جزء من المليون

السيليونيوم من العناصر التي يحتاجها جسم الإنسان بمقادير معينة. يوجد السيليونيوم في خامات معدنية مختلفة أساسا في خام الفضة والنحاس كما يوجد السيليونيوم مع الزنك والنحاس. والمصدر الرئيسى للسيليونيوم هو استخلاص

النحاس حيث يحتوى أنود للنحاس الذى يتم ترسيبه على الكاثود بنسبة ٩٩,٩% حوالى ٠,٠٣% الى ٠,٠١٤% من السيلينيوم، وكذلك الخبث الناتج من صهر النحاس قد يحتوى على ٩,٨% سيلينيوم.

ويستخلص السيلينيوم من النحاس بمعدل ٠,٦٦ رطل من كل طن من النحاس أو عند تحميص خام كبريتيد الحديد لإنتاج حامض كبريتيك حيث يتكون أكسيد السيلينيوم الذى قد يذوب فى الماء مكونا حامض ( $H_2SeO_4$ ) وكلا من الحامض والاكسيد يذوبان فى الماء. وأملاح السيلينيوم مع الصوديوم واليوتاسيوم والكالسيوم والكبريت لا تذوب فى الماء ومركباته مع الكلور والبروم والفلور تذوب فى الماء. ويستخدم معدن السيلينيوم فى الخلايا الضوئية وكمثبت للتيار الكهربائى ويضاف السيلينيوم الى مسبوكات الصلب والنحاس لتحسين خصائص التشغيل الميكانيكى للسلالك.

وتستخدم مسالك السيلينيوم مع النحاس لإنتاج سبيكه عاليه التوصيل الكهربى وكذلك فى صناعة الزجاج لازالة اللون الأخضر للحديدوز وتستخدم سيلينات الصوديوم لإنتاج الزجاج الأحمر النظيف وكذلك لعمل التزجيج باللون الأحمر. إضافة ١-٣% من السيلينيوم يزيد مقاومة البرى للمطاط ويستخدم فى كيماويات التصوير والطبع ورغم أن معدن الفلز يعتبر غير سام إلا أن كثيرا من مركباته تعتبر سامة مثل غاز سيلينيد الهيدروجين وهو ذو رائحة كريهة. التربة المحتوية على السيلينيوم تسبب السمية للإنسان والحيوان إلا أنه قد ظهرت أمراض متوطنة لحيوانات الزراعة فى مناطق ذات مستويات منخفضة من السيلينيوم وعلى الجانب الأخر ترتب على جرعات للعاليه من السيلينيوم ظهور أمراض أخرى فى حيوانات الزراعة. من الدراسات التى أجريت على الإنسان وجدت أدله أن السيلينيوم ضرورى لصحة الإنسان وأن المدخول المنخفض يسبب مرض عضله القلب عند الأطفال ومع المدخول المرتفع تحدث اضطرابات معديه معويه وتلون للجلد ومرض الأسنان وتسوسها.

وباستثناء من يتعرضون مهنيا حيث يتعرض من خلال الهواء والتلامس الجلدى فإن تعرض عامة السكان للسيلينيوم يكون عن طريق الطعام ومستوياته.



الأغذية للخضروات والفواكه تمثل مصدرا غذائيا ضعيفا على نقبض الحبوب واللحوم وخاصة لحوم الأعضاء الداخلية. والتركيب الكيماوى للتربة ومحتواها من السيلينيوم له تأثير واضح على محتوى السيلينيوم فى الحبوب والذى يتراوح ما بين ٠,٤ حتى ٢٠ جزء فى المليون. يتراوح المدخول الغذائى من السيلينيوم للأشخاص الأصحاء حوالى ٢٠ جزء فى المليون. وتقدر الأغذية النموذجية حوالى ١٠٠-٢٠٠ ملجرام / اليوم للسكان البالغين وقد تزداد فى بعض البلدان الى ٣٦٠ ملجرام / اليوم. التعرض التنفسى لايهم كثيرا فى المدخول اليومى للسيلينيوم سواء عن طريق الهواء او عن طريق التدخين. املاح السيلينيوم القابلة للذوبان فى الماء مثل سيلينات الصوديوم تمتص بسهولة بنسبة ٩٥%. السيلينيوم الممتص يوزع على نطاق واسع فى الاعضاء والانسجة مع وجود مستويات عالية فى الكبد والكلى. والسيلينيوم ينفذ من خلال المشيمة وكذلك إلى اللبن ويتوقف ذلك على شكله الكيماوى. وفى ظروف التعرض السائد بين السكان يمود افراغ السيلينيوم البولوى. ويتوقف معدل التخلص على الشكل للكيماوى للسيلينيوم المأخوذ. وتبين المعطيات المتاحة عن الانسان ان السيلينيوم المعطى على هيئة سيلينات يفرغ من الجسم بمعدل اسرع مما لو اعطى على شكل عضوى مثل السليوميترين. وتوجد بعض التناقضات عن تأثيرات السيلينيوم العاليه فى مياه الشرب فقد افادت بعضها أن السيلينيوم الزائد عن الضرورى للغذاء واق ضد ظهور السرطان فى حيوانات التجارب. وقد افترضت وكالة البيئة الأمريكية مستوى ٠,١ ملجرام / لتر فى مياه للشرب وعدل ليكون ٠,٠٥ ملجرام / لتر. والمعدل المقرر فى مصر حاليا هو ٠,٠١ ملجرام / لتر.

## ٦- الزئبق: ٠,٠١ ملجرام / لتر

الخام الرئيسى لعنصر الزئبق هو كبريتيد الزئبق أو السيناوار (Cinabar- HgS) و يوجد خام الزئبق فى عدد قليل من دول للعالم وهى امريكا، روسيا، الصين، أسبانيا، المكسيك، إيطاليا، يوغوسلافيا، الفلبين. والسيناوار يوجد نتيجة الأنشطة البركانية. والزئبق يستخدم فى صناعة الأجهزة الكهربائية وفى انتاج الكلور والصودا الكاوية بالتحلل الكهربى حيث يستخدم كاثود، كما يستخدم فى منع التراكم

البيولوجى (Anti Fouling) وفى أجهزة القياس والتحكم وفى الصناعات الدوائية وفى علاج الأسنان وفى صناعة المبيدات وصناعة الورق ولب الورق وفى بعض الصناعات الكيميائية. ويستخدم كملمع فى الصناعات المعدنية.

ويحدث التسمم بالزئبق فى مناجم إنتاج الخام وعمليات التصنيع لإنتاج الزئبق أو مستحضراته. الزئبق يمكن أن يتسبب إلى جسيمات متناهية فى الصغر. كما يمكن الحصول على بودرة الزئبق الرمادية يرج الزئبق مع الدهون أو التباشير أو السكر أو الكحول وكذلك مع عدد من المواد الأخرى. يحدث التسمم عند التداول مع عدم الحذر من قدرة الزئبق على التشتت. ولما لهو من كثافة نوعية عالية ١٣,٦ ولذا يلزم الحذر عند تداول واستخدام الزئبق مع البحث عن بدائل لإستخداماته حيث يمكن استخدام النحاس وعدد كبير من المركبات العضوية فى عدد كبير من الصناعات ومنها الزراعية وغيرها. وقد أستبدل فى صناعة العقاقير الدوائية بعقاقير الكبريت واليود والمطهرات كما أستبدل ملمع الزئبق فى طب الأسنان بمسحوق المعادن واليورسلين والبلاستيك وأصبحت مفضلة. والزئبق يذوب كثيراً من المعادن مكونا ملمع (Amalgam) عدا معدن الحديد ومعدن البلاتين. معظم مركبات الزئبق لانتوب فى الماء عدا كلوريد الزئبق وأيدروكسيد الزئبق. وقد يوجد الزئبق فى البيئة فى شكل الفلز والأملاح أحادية وثنائية التكافؤ والزئبقيات العضوية وأهمها هو ميثيل الزئبق، والذي يمكن أن يتكون عند تفاعل الزئبق مع غاز الميثان الناتج من التحلل اللاهوائى للمخلفات العضوية.

الأسماك والثدييات تمتص ميثيل الزئبق وتحتبسه مدى أكبر من الزئبق الغير عضوى. ويوجد الزئبق فى البيئة فى الغازات المتصاعدة من الأنشطة الصناعية المتصلة مباشرة بإنتاج الزئبق أو استخدامه بالإضافة إلى الغازات الصناعية المتصاعدة من القشرة الأرضية الملوثة بمخلفات مركبات الزئبق أو المحتوية على خاماته. وفى معظم مياه المجارى السطحية نجد أن الأيدروكسيد وكلوريد هما النوعان السائدان من مركبات الزئبق وعادة ما تكون مستوياتهم أقل من ٠,٠٠١ ملجرام / لتر وقد تصل إلى ٠,٠٣ ملجرام / لتر. ومستويات الزئبق فى مياه الشرب المعالجة بالمرشحات عادة ما تكون منخفضة جدا نتيجة لإستخدام مواد

الترويب. وحيثما لا يوجد دليل على التلوث بالزئبق تكون مستويات الزئبق فى مصادر المياه العذبة أقل من ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر والتي تنخفض إلى أقل من ذلك أثناء معالجة المياه بالمرشحات.

الطعام هو المصدر الرئيسى للزئبق لدى السكان المعرضين بشكل غير مهين، وميثيل الزئبق الموجود فى الطعام يعود معظمه إلى الأسماك ومنتجات الأسماك. نسبة إمتصاص الزئبق عن طريق الطعام ٨% وعن طريق الهواء تبلغ نسبة الإحتباس ٨٠% وعن طريق الماء يبلغ نسبة الإمتصاص ١٥%. وإمتصاص ميثيل الزئبق فى الطعام والماء يكاد يكون تاما. الزئبق لا يخدم أى وظيفة فسيولوجية نافعة للإنسان ولكل من مركبات الزئبق خواصها الذاتية كمادة سامة. تتراكم مركبات الزئبق للاعضوية بسرعة فى الكلى التى هى العضو المستهدف الرئيسى لهذه المركبات وسرعان ما يظهر ميثيل الزئبق  $Hg(CH_3)_2$  فى الدم حيث يرتبط ٨٠ - ٩٠% بالخلايا الحمراء فى الإنسان. وتتم عملية التحويل من ميثيل الزئبق إلى الزئبق اللاعضوى بمعدل بطيء. وترجع السمية الذاتية للكبد لميثيل الزئبق مقارنة بالزئبق اللاعضوى إلى زوبانه فى الدهون وبذلك يسهل عبوره الأغشية البيولوجية إلى الرأس والنخاع الشوكى والأعصاب المحيطية وعبر المشيمة. وتفرغ أملاح الزئبق من الكلى والكبد والغشاء المخاطى المعوى وغدد العرق والغدد اللعابية وخلال اللبن وإهم سبل الإفراغ هى البول والبراز. وتأخذ التأثيرات الهامة للتسمم بالزئبق شكل الإضطرابات العصبية والكلىة التى تقترن أساساً بمركبات الزئبق العضوية واللاعضوية، حيث أن مركبات الزئبق اللاعضوية لا تمتص بسهولة فى الجهاز الهضمى وبالتالي لا تخرق الخلايا مثل ميثيل الزئبق العضوى.

لم تقترح منظمة الصحة العالمية قيمة دليلية للملوثات من مركبات الزئبق فى مياه الشرب ولكن وكالة البيئة الأمريكية قد اقترحت ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر. اللجنة العليا لمياه الشرب فى مصر قد اوصت بمعايير للزئبق فى مياه الشرب لا تزيد عن ٠,٠٠١ ملجرام / لتر وهو المستوى المقرر.

## ٧- الكروم: ٠.٠٥ ملليجرام / لتر

الخام الرئيس للكروم هو كرومات الحديدوز وينتج بتسخين الخام فى فرن كهربى لإنتاج الفيروكروم الذى يستخدم فى صناعة سبائك الصلب. يتفاعل الكروم مع الكلور والبروم. تستخدم أملاح الكروم مثل كبريتات الكروم فى صناعة النسيج والصباغة وديباغة الجلود وفى أحواض التثبيت والطباعة للصور الفوتوغرافية وفى صناعة السيراميك. ولايتأثر الكروم بالرطوبة أو للماء عند درجات الحرارة العادية. ولايتؤب اكسيد الكروم فى الماء. وأملاح الكروم عوامل اختزال قوية. ويستخدم اكسيد الكروم فى صناعة الزجاج الأخضر والأصفر. أما الاستخدام الرئيسى للكروم فهو فى صناعة السبائك مع معادن كثيرة، حيث يستخدم فى إنتاج الصلب لزيادة الصلابة. ويوفر الكروم فى سبيكة الصلب المقاومة للتآكل (Stainless Steel) وارتفاع درجات الحرارة ومقاومة الكيمائيات. ويضاف الكروم فى صناعة سبائك النحاس كذلك. والاستخدام الأخر الرئيسى للكروم هو فى تغطية أسطح المعادن بالترسيب الكهربى بما يعطيهما اللون الجميل ومقاومة التآكل والبرى والاحتكاك كما فى حالة تغطية سبيكة النحاس مع النيكل. ولتغطية الزنك والكاديوم والألومنيوم والمغنيسيوم والنحاس فانها تتم بغمر هذه المعادن فى محلول محتوى على الكروم السداسى شديد السمية.

والكروم فى التربة قد يوجد فى الشكل الثلاثى التكافؤ ونادرا ما يوجد فى الشكل السداسى التكافؤ. والكروم فى الطبيعة غير مذاب فى الماء الا ان تأثير الطقس والآثار الناتجة عن النشاط البيولوجى قد تحوله الى المركب المذاب بنسبة قليلة. ولذلك فان معظم مركبات الكروم التى تنوب فى المياه تكون ناتجة عن التلوث بمخلفات الصناعة وخاصة الكروم السداسى. والشكل الثلاثى التكافؤ هو الثابت نظرا لسهولة اختزال الكروم السداسى التكافؤ بطروف بيئية مختلفة من المواد العضوية. ومستويات الكروم الموجود فى الماء عموما منخفض نظراً لقلّة ذوبانه فى الماء. تلوث المياه فى بعض الحالات يرجع الى الصرف الصناعى الغير معالج الذى يحتوى على مركبات الكروم فى المجارى المائية. ويكون الكروم فى الشكل الثلاثى أو السداسى التكافؤ فى شكل جسيمات عالقه او كملح مذاب وكثيرا ما

يكون كمركب كيميائى معقد. يتحول الكروم الثلاثى التكافؤ الى ايدروكسيد الكروم الغير ذائب فى المجال القلوى. وتقتزن المستويات العالية للكروم فى الماء بدرجة العسر حيث تزداد مع زيادة عسر المياه. وقد تصل مستويات الكروم الكلى فى الماء الى ١٠ ملليجرام / لتر. عادة ماتكون المياه للمعالجة بالمرشحات اقل فى محتواها من الكروم من المياه الخام، ولذلك فان محتوى مياه الشرب من الكروم يكون بمقادير منخفضة جدا. قد يزداد التركيز فى مياه الشرب بسبب التصاق المياه فى المواسير والسباكة المحتوية على الكروم. ويندر وجود الكروم ثلاثى التكافؤ فى مياه الشرب المكلوره حيث يتأكسد الى سداسى الكلور. تختلف المواد الغذائية فى محتواها من الكروم. وبعض الأطعمة للبحرية تحتوى على مستويات مرتفعة تبلغ من ٠.٠٢ - ٠.٢ ملليجرام / لتر. ويوجد الكروم فى الخمور وفى المواد الغذائية فى شكلية الثلاثى والسداسى التكافؤ أو نتيجة التلوث من الأنينة المطلوبة بالكروم او المصنعة من الصلب الذى لا يصدأ. يصل المدخول الغذائى من الكروم ما بين ١٠٠ - ٣٠٠ ملليجرام / فى اليوم. تبلغ مستويات الكروم فى الهواء فى المتوسط فى المدن ٠.٠٢ ملليجرام / م<sup>٢</sup>. ومعظم الكروم الموجود فى الهواء يأخذ شكل جسيمات دقيقة، ويترسب نصف ما يستنشقه منها فى الجهاز التنفسى، وتبلغ الكمية المترسبة فى الرئتين ٠.٢ ملليجرام / يوميا. تحتوى السجائر على آثار من الكروم تبلغ حوالى واحد ملليجرام للسجارة الواحدة. وقد المدخول اليومى من الكروم على اساس امتصاص ١٠% من الكروم عن طريق الطعام و الماء، ٥٠% من الكروم العالق فى الهواء الجوى الذى يمتص ويحتجز. (متوسط الكروم فى الهواء الجوى ٠.٠٢ ملليجرام / م<sup>٣</sup>). يمتص الكروم من خلال الجهازين الهضمى والتنفسى وتختلف الكمية الممتصة فى كل من الجهازين وطبقا لشكل الكروم. والكروم ثلاثى التكافؤ ضرورى للإنسان للوقاية من بعض الأمراض مثل مرض السكر وهو عديم السمية. الكروم سداسى التكافؤ سام. يبلغ معدل امتصاص الكروم سداسى التكافؤ ٩ أمثال امتصاص الكروم ثلاثى التكافؤ المنقولين بالماء. والكروم سداسى التكافؤ المنقول والمذاب فى الماء هو من مسببات لضرار الكروم فعند ١٠ جزء فى المليون من وزن الانسان يحدث نخر فى الكبد والتهاب الكلى والوفاء أما الجرعات الأقل فإنها تسبب تهيج الغشاء المخاطى للمعدة والأمعاء. توجد دلائل لكون الكروم سداسى

التكافؤ يسبب السرطان الرئوي وسرطان البروستاتا وحدوث التهابات جلدية وقرحات في الغشاء المخاطي. أكبر مخازن للكروم في جسم الإنسان هي الجلد والعضلات والدهون. ومستوياته في الأنسجة دالة للجنس والسن والموقع الجغرافي. وهناك البنية في الجسم تمنع تراكم مقادير زائدة من الكروم ثلاثي التكافؤ. ويفرغ الكروم ببطء في البول وكذلك في البراز والمستوى المقرر للكروم الكلي لا يزيد عن ٠,١ ملليجرام / لتر من مياه الشرب ولذلك فإن المعايير التي أصدرتها وزارة الصحة لمحتوى مياه الشرب من الكروم الكلي هو ٠,٠٥ ملليجرام / لتر.

## ٨- النترات والنيتريت: ( $\text{NO}_3, \text{NO}_2$ )، ١٠، ٠,٠٥ ملليجرام / لتر

النترات موجودة على نطاق واسع وبكميات كبيرة في التربة في معظم المياه والنباتات والخضروات. والنيتريت موجود كذلك على نطاق واسع إلى حد ما ولكن عادة بمستويات أقل كثيرا من النترات. كلا من النترات والنيتريت يتحول أحدهما إلى الآخر في الطبيعة. وعادة ما تكون التأثيرات الصحية للنترات نتيجة لسهولة تحولها إلى النيتريت في الجسم. والنترات ناتجة أكسدة النيتروجين العضوي ببكتيريا التربة والماء حيثما وجد قدر كاف من الأكسجين، وتسمى البكتيريا التي تقوم بهذا الدور بالبكتيريا المؤكسدة للنيتروجين العضوي.

واحد الاستعمالات الأساسية للنترات يكون في شكل السماد النيتروجيني، وكذلك فإن معظم الأسمدة الأخرى المحتوية على نيتروجين تتحول إلى نترات في التربة. وتستعمل النترات في صناعة الأسمدة وكموامل مؤكسدة في الصناعات الكيميائية وصناعة المفرعات والاستعمال الرئيسي لأملاح النترات من الصوديوم والبوتاسيوم هو لحفظ الأطعمة. وتنتج النترات والنيتريت في التربة نتيجة لتحلل البكتيريا للمواد العضوية سواء كانت نباتية أو حيوانية. ونظرا للانتشار الواسع للنترات والنيتريت في البيئة فإنها توجد في معظم الأطعمة وفي الجو وفي كثير من مصادر المياه. ويرجع وجود النترات والنيتريت في الماء إلى استعمال الأسمدة والمواد النباتية والحيوانية والصرف الصحي والزراعي في الماء أو في التربة، وهذه تحدث تلوث للمياه السطحية والجوفية. مستويات النترات في المياه الملوثة

أعلا كثيرا من مستويات النيتريت. مستوى النيتريت في المياه المكلورة أقل من وجوده في المياه الخام حيث يكون حوالي ٠,٠٠٥ ملليجرام / لتر. توجد معظم المستويات العالية للنترات في المياه الجوفية. وفي المياه السطحية فإن النترات تستنفذ بواسطة النباتات المائية. وتركيز النترات لا يتغير بشكل واضح في شبكة التوزيع حيث المستوى في الماء الخام هو في شبكة التوزيع. كما يوجد في الطعام كميات من النترات وكميات من النيتريت أقل منها في أطعمة معينة. ومدخول الانسان الرئيس من النترات والنيتريت هو للطعام. وقد يصل تركيز النترات في محاصيل مثل الكرنب والكرف والخس والبطاطس والسبانخ والعديد من الخضروات الجذرية الى ١٠٠ جزء في المليون. وهذه تحتوي على مستويات عالية من النترات لكنها لا تحتوي إلا على قدر صغير من النيتريت. ومصدر آخر لتناول النترات والنيتريت وهو اللعب . فالانسان يفرز حوالي ١٠ ملليجرام نيتروجين نترات في اليوم ويختزل منها الى النيتريت حوالي ٢ ملجرام في اليوم. والنترات مشتقة أساسا من الطعام وخاصة للخضروات. بالنسبة لمختلف الأفراد، يمكن أن يكون هناك مدى واسع من التعرض المحتمل للنترات والنيتريت في الماء والطعام والهواء من خلال إحتراق الفحم والوقود والغاز ومصادر أخرى. وإن كان يبدو أن تلوث الهواء العام يمثل مصدرا غير ذي أهمية نسبيا. كلا من النترات والنيتريت سهل الامتصاص جدا في الجسم حيث نسبة الامتصاص ١٠٠%.

النترات في مياه الشرب لها آثار سلبية على صحة الانسان وذلك لاختزال النترات الى النيتريت بواسطة بعض البكتيريا ثم امتصاص النيتريت للاكسجين بما يعيق تكون كرات الدم الحمراء عند الأطفال والرضع، كما أن هناك احتمالات لحدوث سرطان المثانة. وقد أوصت معايير الملوثات في مياه الشرب على ألا يزيد محتوى المياه من نيتروجين النترات ( $N-NO_3$ ) عن ١٠ ملليجرام / لتر، من نيتروجين النيتريت ( $N-NO_2$ ) عن ٠,٠٠٥ ملليجرام/لتر. وألا يزيد مجموع كليهما عن ١٠ ملليجرام / لتر. وكذلك يلزم عند تحضير الأطعمة للأطفال عدم المبالغة في تسخين المياه تحاشيا لزيادة البخر وزيادة التركيز في الماء.

## ٩- الفلوريدات: ٠,٨ ملليجرام / لتر

الفلور عنصر شائع الى حدما ويوجد على شكل الفلوريد فى عدد من الخامات مثل الفلورسبار والكربوليت والفلورباتيت كما يوجد فى كثير من الصخور. والفلوريدات موجودة فى أسمدة الفوسفات وفى الطوب والخزف والقرميد. وخام الفلور هو الفلورايت و يسمى كذلك الفلورسبار (Flour Spar) وتركيبه الكيماى هو فلورايد الكالسيوم ( $CaF_2$ ). والخام له بريق حد وقد يكون شفاف أو شبه شفاف، وهو غير متجانس ويتغير اللون فقد يكون بنفسجى أو أخضر أو أصفر أو قرمزى أو أزرق أو بنى أو أسود أو لا لون له. ويوجد الخام فى شكل كتل بلورية (Crystals) أو فى شكل كتل عادية. وقد يوجد الخام ومعه خام الرصاص والفضة أو الزنك أو مع خامات الكاليسيت ( $CaCO_3$ ) والكوراتز والبايريت  $BaSO_4$  وقد يوجد بدون اى من هذه الملوثات. والخامات عموماً توجد فى الصخور الرسوبية. والفلوريدات تستخدم فى صناعة الألومنيوم وفى الصناعات المعدنية عموماً لقدرتها على تقليل لزوجة الخبث كما يستخدم فى صناعة السيراميك. توجد آثار من الفلوريد فى كثير من المياه كما توجد للتركيزات العالية فى المياه الجوفية. وقد يصل التركيز فى مياه الآبار إلى ١٠ ملليجرام / لتر وفى مياه المجارى السطحية إلى حوالى ١ ملليجرام / لتر.

ومستويات الفلوريد فى الماء صغيرة تشبة إلى حد كبير نفس المستوى الموجود فى مياه المصدر. وقد تزيد هذه النسبة فى حالة إضافة الفلوريد للماء ليصل تركيز الفلوريد إلى ٠,٦ - ١,٧ ملليجرام / لتر لأسباب صحية منها تقوية الأسنان والعظام. ومع تناول لترين من الماء يومياً فإنه يمكن عندئذ تناول ١,٢- ٣,٤ ملليجرام فلوريد يومياً من مياه الشرب.

توجد المركبات المحتوية على الفلوريد فى الهواء الناتجة عن العمليات الصناعية وخاصة عمليات صهر الألومنيوم وصناعة الزجاج حيث يصل التركيز إلى عدة ملليجرامات / م<sup>٣</sup> ويعتبر التعرض التام لأقل من واحد ملليجرام / م<sup>٣</sup> مقبول. وفى الغذاء فإن جميع المواد الغذائية تقريباً تحتوى على آثار من عنصر الفلور وكذلك جميع النباتات التى تمتصه من التربة والماء. ويمكن أن يحتوى الشاي



والأسماك وبعض الخضروات على مستويات عالية. فقد يصل التركيز في بعض الأسماك إلى ١٠٠ جزء في المليون وفي الشاي أكثر من ضعف هذا التركيز مقارنة بالمواد الغذائية الأخرى التي نلحظها ما يزيد محتواها عن ١٠ جزء في المليون. ويزداد مستوى الفلوريد في المواد الغذائية المحضرة عند استعمال الماء المغلي حيث قد يصل إلى الضعف في بعض الصناعات الغذائية. ولا يعتبر التعرض للفلور بالتدخين مصدراً هاماً مقارنة بالمصادر الأخرى. كما يمكن أن يتعرض عامة السكان لمنتجات ممتصة تحتوي على الفلور مثل معجون الأسنان ومسحوق الأسنان وغسولات الفم ولبنان المضغ وبعض الفيتامينات التكميلية والأدوية من الفلوريد الغير عضوي والذي يذوب في الماء. وعادة ما تضاف هذه المركبات إلى مستحضرات الأسنان بتركيز واحد في الألف. وقد أظهرت الدراسات أن إمتصاص الفلور يتم بكميات كبيرة عن هذه الطرق، حيث يمكن أن يصل إلى ٥٠ ملجرام فلور لكل غسلة بفرشاة الأسنان. كما توجد الأفراس التي تحتوي على فلوريد الصوديوم المضاد للتسوس والإستعمال المنتظم لهذه الأفراس يصل إلى حوالي ملجرام واحد من الفلوريد في اليوم.

الفلوريد المتناول مع الماء يكاد يكون إمتصاصه كاملاً أما الفلورايد الغذائية فإن إمتصاصه ليس كاملاً. وفي حالة أغذية معينة مثل الأسماك واللحوم لا يمتص سوى ٢٥ % من الفلوريد. الفلوريد الممتص يتوزع بسرعة في أنحاء الجسم ويحتجز أساساً في الهيكل العظمي ونسبة صغيرة في عظام الأسنان. تتراكم كمية الفلور في العظام حتى سن ٥٥ سنة. ويقل معدل إحتجاز الفلوريد مع التقدم في السن ويكون متاحاً للإفراز الكلوي.

كثير من اعراض التسمم بالفلوريد نتيجة إرتباطه بالكالسيوم. وفي الجرعات العالية يكون شديد السمية وتشمل الأعراض المرضية الإلتهاب المعدى المعوي والنفيز والتهاب الكلى الحاد وشتى درجات إصابة الكبد وعضلة القلب. وتبلغ الجرعة المميتة الحادة خمسة جرامات على شكل فلوريد للصوديوم بما يعادل ٢ جرام فلور. وقد تظهر علامات التسمم الأولى مثل القيئ وآلام البطن والغثان والإسهال. وقد تبين أن المغولية (Mongolism) والمرطبان يقترنان بالمستويات

المرتفعة من الفلوريد في الماء. وتظهر الحساسية من الفلور لدى الملايين من شاربى الشاي أحياناً وخاصة الكميات الكبيرة من نقيع الشاي (المغلى).

وقد نص في معايير مياه الشرب ألا تزيد نسبة الفلوريدات عن ٠,٨ ملجرام / لتر. وفي مدارس الأطفال حيث بدء ظهور ونمو الأسنان تكون مياه الشرب لهم محتوية على ١,٥ ملجرام/لتر من الفلوريد.

## ١٠- المواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة والتي لم ينص عليها في معايير مياه الشرب والإستخدام المنزلى، والتي نص عليها في دلائل مياه الشرب التي أعدتها منظمة الصحة العالمية. وهذه تشمل الفضة، النيكل، البريليوم والأسبستوس.

### أ- الفضة: ٠,١٩ ملجرام / لتر

توجد الفضة في جميع أنحاء العالم ومن خاماتها كلوريد الفضة وكبريتات الفضة وتوجد كذلك في خامات النحاس والرصاص والزنك. ويعاد إستخلاص كمية كبيرة من الفضة من أفلام التصوير ومحاليل الطبع والتحميض ومن التحف الفنية والصناعات الفضية وصناعات أخرى. وتوجد الفضة في القشرة الأرضية بتركيز يبلغ ٠,١ جزء في المليون. وتستعمل الفضة في سبائك كثيرة وفي مواد اللحام وفي التصوير الضوئي والمعدات للكهربية والطلاء الكهربى بالفضة. كما تستخدم الفضة في حشو الأسنان من سبيكة مكونة من ٧٠% فضة، ٢٦% قصدير، ٣% نحاس، ١% زنك، كما تستخدم مع الزئبق لتكوين ملمع (Amalgam)، كما تستخدم بوردرة السبيكة (حالياً ترزيز - Atomized) بنسبة ٥% من السبيكة، ٥-٨ جزء من الزئبق.

نسبة الفضة في الماء الخام لو المعالج ترجع إلى مصادر طبيعية أو من الملوثات في مياه للصرف الصناعى، كما أن تأكل بعض للمعادن والسبائك فى شبكات المياه التى تحتوى على آثار من الفضة يزيد من الفضة فى المياه بعد المعالجة. ومحتوى المواد الغذائية من الفضة تالفه جداً والإستثناء الوحيد هو "عيش

الغراب" الذى قد يحتوى على أكثر من مائة جزء فى المليون. وشتى الأغذية توفر من ١ - ٨٠ مليجرام من الفضة فى اليوم، وكذلك للخضروات التى تعد بماء يحتوى على الفضة فإنها تمتص الفضة بشكل كبير. وللقيم التقديرية لمدخول الفضة من الأطعمة عموماً يتراوح ما بين ٢٠-٨٠ مليجرام فى اليوم. مستويات الفضة فى الهواء منخفضة ولا تزيد عن ٠,٠٥ مليجرام / م<sup>٣</sup> والتعرض فى هذه الحالة ليس له تأثير.

لا يوجد دليل على أن الفضة ضرورية لكيان الانسان. وقد سجلت حالات تسمم مميت مع الجرعات المرتفعة. يكمن التأثير الرئيسى للفضة فى إزالة لون الجلد والشعر والأظافر (ظاهرة التقطص) ويحدث نفس الشئ للعمال المعرضين مهنيًا للفضة. وليس للفضة علاقة بالسرطان. الكبد والطحال يركزان الفضة كما تؤثر الفضة على ترسيب البروتينات وتعطل بعض النظم الفسيولوجية. معظم الفضة الممتصة تفرغ مع البراز ولا يحتبس فى الأنسجة إلا كميات صغيرة جداً باستثناء الجلد. منظمة الصحة العالمية حذفت الفضة كملوث لمياه الشرب وذلك لندرة وجودها. ولكن وكالة البيئة الأمريكية أوصت بقيمة دليلية للفضة فى مياه الشرب لا تزيد عن ٠,٠٩ مليجرام / لتر.

#### ب- النيكل :

خام النيكل الشائع هو البنتلانديت وهو أصفر برونزى اللون ويحتوى على ٣٤% نيكل، ويوجد هذا الخام فى مناجم الكبريت التى تحتوى على كميات كبيرة من الحديد والنحاس مع النيكل. وتوجد أنواع أخرى من خام النيكل متحدة مع الكبريت أو الزرنيخ أو السيلكا وهذه تكون قريبة من القشرة الأرضية ولكن بنسب قليلة من خام النيكل مقارنة بخام النيكل فى مناجم الكبريت. ويستخدم النيكل فى كثير من سبائك الصلب وفى سبائك النحاس وخاصة البرونز - ويستخدم النيكل فى الطلاء المعدنى وفى التفاعلات الكيميائية لتنشيطها كعامل وميط (Catalyst) وفى بعض مبيدات الفطريات. وعند استخدام النيكل فى الطلاء للأوانى المنزلية المستخدمة فى تجهيز الأطعمة قد يسبب بعض التلوث لهذه الأطعمة.

كثيراً من أملاح النيكل تنوب في الماء ولذلك فإن صرف المخلفات الصناعية للسائله الغير معالجة يمكن أن يسبب التلوث لمجارى المياه السطحية والمياه الجوفية. المعالجة التقليدية بالمرشحات تزيل بعضاً من النيكل وهذا يجعل النيكل في المياه المعالجة أقل منه في المياه الخام. ويعتبر تركيز النيكل في مياه الصنبور ٢-٥ ملجرام / لتر مقبولاً إلا أنه يمكن زيادته بسبب الطلاء بالنيكل لبعض مهمات السباكة المنزلية. يوجد النيكل في معظم المواد الغذائية فقد يصل في النبيذ إلى ٥٠ ملجرام / لتر. ويبلغ تركيز النيكل في هواء المدن الصناعية في الحالة النموذجية إلى حوالى من ١٠-٢٠٠ ملجرام / م<sup>٣</sup> - وتركيزه في المياه قد يصل إلى ٠,٢ ملجرام / لتر.

والسجائر تحتوى على ٣ ملجرام من النيكل في السجارة على هيئة مركب نيكل متطاير يسمى كربونيل النيكل. ويمكن إستنشاق ١٠ - ٢٠% من محتوى النيكل في السجارة. النيكل المستنشق يمتص بنسبة ٥٠% والمبتلع يمتص بنسبة ١% أو قد يزيد قليلاً. ويكاد يكون النيكل ضرورى لتغذية الحيوان ومن المرجح أن يكون كذلك بالنسبة للإنسان. لا يوجد دليل على تراكم النيكل في الأنسجة فهو يفرغ في البراز أساساً مع كميات أصغر في البول كما يمكن أن تفرغ كميات كبيرة فى العرق.

النيكل عنصر غير سام وأكثر الأمراض شيوعاً مع التعرض الصناعى هو إلتهاب الجلد والدوار وضيق التنفس ومشكلات فى الدم والكلى. وقد إعتبر النيكل من العناصر المسرطنة بسبب الإمتشاق ولم تحدد نسب أو معايير للنيكل فى مياه الشرب.

### ج- البريليوم

هو العنصر الوحيد خفيف الوزن والذي يذوب عند درجة حرارة مرتفعة حوالى ١٢٧٧°م، ومعادن البريليوم رمادى ويكتسب لمعان قوى لعدة سنوات مع التلميع. البريليوم لا يتأثر بالمياه العادية ولكنه يتآكل بالمياه المحتوية على ٠,٥ جزء فى المليون من الهالوجينات ومنها الكلور الذى يستخدم فى تطهير مياه الشرب.

يوجد البريليوم عادة في تركيب خام الفيلد سبار المعدنية (Feldspar). والمصدر الرئيسى للتلوث بالبريليوم في البيئة هو حرق الفحم وهذا التلوث عادة يكون طفيفاً. وبسبب خفة الوزن للبريليوم وارتفاع مقاومته للتشد أصبح له قيمة كمكون في مبانك خاصة تستخدم في صناعة مركبات الفضاء ونوافذ الأشعة السينية وبعض مكونات في الأجهزة الكهربائية والمفاعلات النووية. ويدخل البريليوم إلى المجارى المائية عن طريق عوامل طبيعية لتفتت الصخور والغيار الجوى والنفايات الصناعية. ومستوياته في المياه العذبة بالغة الانخفاض حيث تصل إلى أقل من ٠,١ مليجرام / لتر، ٠,٢ مليجرام / لتر في الدول الصناعية . ومحتوى الطعام من البريليوم بين ٠,١ - ١,٢ جزء في المليون. ومستوى البريليوم في هواء المدن الصناعية بالغ الانخفاض ويبلغ ٠,٣ لى ٣ نانو جرام / م<sup>٣</sup>. مركبات البريليوم لا يمتص منها سوى ١% في المعدة أما المركبات المستنشقة فتمتص في الرئتين وتجد طريقها إلى الدم والمركبات الغير مذابة تحتجز في الرئتين. البريليوم الممتص إما أن يفرغ في البول أو يرسب في الكلى والعظام. وإستنشاق البريليوم مضر للإنسان حيث يحدث إتهابات في الأنف والبلعوم وللرئة ولقصة الهوائية. ونظراً لعدم إمتصاصه فى المعدة والأمعاء فإن سميته منخفضة إلا أن دراسات أجريت تفيد بأن إستنشاق البريليوم بحتمل أن يكون من مسببات السرطان للإنسان والحدود العيارية الوحيدة للبريليوم في الماء وهى تلك التى أصدرها الإتحاد السوفيتى، حيث حدد أقصى تركيز مسموح به فى مياه الشرب ٠,٢ مليجرام / لتر.

#### د- الأسبتوس

الأسبتوس مصطلح عام يطلق على خامات السيليكا اللبفية. وهذه الخامات تتكون من حوالى ستة عناصر منها السيليكون، ومن خام الأسبتوس أنواع الكريزويل، الأموزيت والاكينوليت. وخام الأسبتوس يحتوى على ٥٠-٦٠% سيليكا إلى جانب أكاسيد المغنيسيوم والكالسيوم وغيرها من العناصر. يوجد منجم لخام الأسبتوس في الصحراء الشرقية في مصر ولكن هذا الخام لا يصلح للعمليات الصناعية مثل صناعة المواسير من المونة الأسمنتية والأسبتوس التى تستخدم في نقل المياه. يدخل الأسبتوس في المياه الطبيعية نتيجة إزابة المعادن

والصخور المحتوية على خام الأسبستوس وكذلك من مياه الصرف الصناعي للصناعات المستخدمة للأسبستوس.

المعالجة التقليدية بالمرشحات تزيل كثيراً من ألياف الأسبستوس إلا أنه قد يصل إلى صنوبر المستهلك عند استخدام مواشير الأسبستوس في نقل المياه. يستخدم الأسبستوس في صناعة الصابون الحجري (Soap Stone) والبيروفيليت المستخدم كمادة حاملة لرزاز مبيدات الهوام. كما تستخدم ألياف الأسبستوس كوسط ترشيحي في الصناعات الكيماوية وقد تقلص استخدامه كوسط ترشيحي في صناعة البيرة. وتوجد تركيزات للأسبستوس في الهواء حوالى ٠,٠٠٠٦ مليجرام / م<sup>٣</sup> ويتوقف التعرض طبقاً للقرب من المناطق للصناعية المستخدمة للخام أو من مناجم الخام. مدخول الأسبستوس من الهواء أكبر منه من الماء. ألياف الأسبستوس تتلصق مع الطعام والمشروبات، لم يتأكد اختراق ألياف الأسبستوس لجدار المعدة والأمعاء في الظروف الطبيعية، إلا أنه وجد أن هذه الألياف قادرة على اختراق جدار المعدة والأمعاء والوصول إلى الدم والأنسجة خلال بعض التجارب على حيوانات التجارب وذلك بعد تناول جرعات عالية تحتوى على ٥% من الطعام لمدة سنتين.

والأسبستوس يمكن أن يرسب في المسالك الهوائية للجهاز التنفسي بالنقل أو بالعرض ويتحدد الترسيب بالنقل بقطر الليفة وبالعرض بطول الليفة. والمقادير الصغيرة من ألياف الأسبستوس تزال بواسطة الأهداب المخاطية. وفي عدة دراسات وجد عدد قليل من ألياف الأسبستوس في رئة المرضى للعاديين. والفرضية القائلة بأن ألياف الأسبستوس المتناولة تسبب السرطان لا يمكن إستبعادها كما ينتج عن التعرض المهني للأسبستوس المنقول بالهواء تليف رئوى وسرطان بالقصبة الهوائية والجهاز الهضمى وسرطان المبيض والحجرة.

وتدل الشواهد بشده على وجود علاقة بين للتخين والأسبستوس في حدوث سرطان الحجرة والقصبة الهوائية. كما أبلغ أن سرطان المعدة والأمعاء يمثل ثلث الأورام الخبيثة لدى العمال في مناجم وطواحين الأسبستوس. ولم تعلن معايير قدر الأسبستوس الملوثة لمياه الشرب في إصدارات منظمة الصحة العالمية أو في معايير مياه الشرب في مصر.

جدول (٣) القيم الدليلية والمعايير لمواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة

| المادة     | دلائل منظمة للصحة العالمية | معايير وزارة الصحة  | المادة     | دلائل منظمة للصحة العالمية | معايير وزارة الصحة |
|------------|----------------------------|---------------------|------------|----------------------------|--------------------|
| الرصاص     | ٠,٠٥ مليجرام/ لتر          | ٠,٠٥ مليجرام / لتر  | النترات    | ١٠ مليجرام/لتر             | ١٠ مليجرام /لتر    |
| الزرنيخ    | ٠,٠٥ مليجرام/ لتر          | ٠,٠٥ مليجرام / لتر  | النيتريت   | ٠,٠٥ مليجرام / لتر         | ٠,٠٥ مليجرام/لتر   |
| السيلينيد  | ٠,١ مليجرام/ لتر           | ٠,١ مليجرام / لتر   | الفلوريدات | ١,٥ مليجرام/لتر            | ٠,٨ م مليجرام/لتر  |
| الكاديوم   | ٠,٠٥ مليجرام/ لتر          | ٠,٠٥ مليجرام / لتر  | بريليوم    | ٠,٠٥ مليجرام/لتر           | ٠,٠٥ مليجرام /لتر  |
| المبالييوم | ٠,٠١ مليجرام/ لتر          | ٠,٠١ مليجرام / لتر  | فضه        | —                          | —                  |
| الزئبق     | ٠,٠٠١ مليجرام/ لتر         | ٠,٠٠١ مليجرام / لتر | الباريوم   | —                          | —                  |
| الكروم     | ٠,٠٥ مليجرام/ لتر          | ٠,٠٥ مليجرام /لتر   | الأمبيستوس | —                          | —                  |





## القسم الرابع

### المواد العضوية ذات التأثير على الصحة العامة

#### ١- مبيدات الهوام: (Pesticides)

مبيدات الهوام تشمل الهيدرو كربونات الكلورة ومبيدات الحشائش (Herbicides) ومبيدات حشرات التربة (Insecticides) وقد تتراكم مبيدات الهوام في الغذاء بتركيزات مختلفة فالمبيد د. د. ت يتراكم بيولوجياً في الأسماك بتركيزات تزيد على عشرة آلاف ضعف الموجودة في الماء. والعديد من مبيدات الهوام بما في ذلك المبيدات المستخدمة في الزراعة ومكافحة الأمراض لها خاصية التواجد الحر (Residue) وقد اوصى بقيم دليلية لهذه المبيدات نظراً لما هو معروف عن وجودها كمتبقى عرضي في الماء. مبيدات الهوام من الهيدروكربونات الكلورة اعتمد لها مدخول يومي مقبول قدره ١% كأساس لتقاي الأثار المرضية المسرطنة في مياه الشرب وهذه تشمل:

#### أ- الـ د. د. ت

الـ د. د. ت مركب عضوي من الهيدرو كربونات الكلورة ولا يذوب في الماء ولكن يذوب في المذيبات العضوية وقد استعمل في المواقع العسكرية للحماية من الملاريا والتيفوس والبعوض أثناء الحرب العالمية الثانية ثم استخدم في الزراعة بعد ذلك ثم توقف استخدامه بسبب مقاومة الهوام له. د. د. ت مبيد حشري ثابت في

مختلف الظروف البيئية ويقاوم التحلل بالكامل وقد أمكن استخلاص آثار من د.د.ت في الغبار لمسافة ١٠٠٠ كيلو متر. يمكن ان يزداد التركيز في المناطق التي تكافح البعوض ببرنامج الضباب (Fogging Programme) ويوجد د.د.ت في ماء المطر في المناطق الزراعية وغير الزراعية كما يتوقف تركيزه في المياه السطحية على تركيزه في مياه الأمطار وفي التربة وعلى طبيعة التربة. الطعام هو المصدر الرئيسي ل د.د.ت في جسم الانسان حيث اكثر من ٩٠ % من المخزون في جسم الانسان من د.د.ت مستمد من الطعام ويمتص د.د.ت عن طريق الاستنشاق والابتلاع يبلغ تركيزه في الدم لدى عامة السكان ما بين ٠,٠١ الى ٠,٠٧ ملجرام /لتر. التأثير الرئيسي ل د.د.ت هو على الجهاز العصبي كما ان الكبد هو العضو الوحيد الذى يتأثر بالـ د.د.ت وقد قدرت القيمة للدليلة التي اعدتها منظمة للصحة العالمية بمدخول يومي مقبول مقداره من صفر الى ٠,٠٠٥ ملجرام / كيلو جرام من وزن الانسان ونصت معايير وزارة الصحة على ٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

#### ب- الالدرين والدايلدرين: (Dieldrin- Aldrin)

وهذه المبيدات استخدمت لمعالجة التربة ضد شتى حشرات التربة ولمعالجة البذور واكثر استعمال لها الآن هو مقاومة للنمل الأبيض والالدرين يتحول بسهولة الى ديلدرين فى النباتات والحيوانات ونادرا ما يوجد كما هو فى التربة والطعام والماء وقد يوجد بتركيز منخفض جدا فى الهواء بينما يصل تركيزه فى مياه الأمطار الى ٥ ملجرام / لتر. ويختزن الدايلدرين فى الأنسجة الدهنية والعضلات والراس للثدييات والطيور والأسماك حيث قد يصل الى عدة ملجرامات فى الكيلو من الأسماك والموقع الرئيسى لفعل الدايلدرين هو الجهاز العصبي المركزى بما يسبب الوفاة فى حالة التسمم الحاد بالإضافة الى ما يحدثه من لورام فى الكبد. والالدرين والدايلدرين ليس لهم علاقة بأسباب السرطان والمدخول اليومى المقدر من كل من الالدرين والدايلدرين هو ٠,٠٠١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

**ج- الكلوردين : Chlordine**

والكلوردين مبيد حشري من الهيدروكربونات الكلورة متعددة الحلقات وقد استعمل على نطاق واسع خلال السنوات الماضية لمكافحة النمل الأبيض وكذلك كمبيد حشري للمنازل والحدائق وحشرات التربة عند انتاج بعض المحاصيل مثل الذرة وقد انخفض استعماله قريبا في الخارج. والكلوردين ينوب في الماء بنسبة ٩ ملجرام /لتر لم يثبت تلوث الهواء بالكلوردين، يمكن ان يمتص الكلوردين من خلال الجلد فينتج تأثيرات سامة وخاصة بالنسبة للعاملين في صناعة أو المستخدمين له. يعتبر الهواء وماء الشرب مصدرين قليلي الأهمية بالنسبة للكلوردين. وهذا المركب يسبب بياض شديد للدم، وهو مسبب للسرطان في حيوانات التجارب وقد قدر مدخول يومي مقبول لشخص يزن ٧٠ كيلو جرام ٠,٠٧ ملجرام والقيمة الدلالية للكلوردين هي ٠,٣ ملجرام / لتر ونصت معايير وزارة الصحة على نسبة ٠,٢ ملجرام / لتر في مياه الشرب.

**د- سداسي كلورو بنزين : (Hexa Chlorobenzene)**

سداسي كلورو البنزين مادة صلبة بيضاء تنوب بمعدل منخفض في الماء ولكنها تنوب في المذيبات العضوية ويوجد كرزاز في هواء المناطق الصناعية أو في مواقع استخدامه كمبيد كما يوجد في أنواع كثيرة من الاطعمة وفي مياه المصارف ومياه الشرب في بعض الحالات وكذلك في لحوم الحيوانات المنتجة للألبان. وقد أجريت دراسات أفادت بأنه مسرطن وذلك لأنه يحدث أورام في الكبد وفي بطانة الأوعية الدموية والدرقية. وقد أوصى بقيمة دلالية لسداسي كلورو بنزين لا تزيد عن ٠,٠١ ملجرام / لتر في مياه الشرب وقد أصدرت وزارة الصحة المعايير بنفس القيمة.

**هـ- اللندين : Lindane**

اللندين مادة صلبة بيضاء (Hexachlorocyclohexane) تتصهر عند درجة حرارة ١١٢°م وينوب إلى حد ما في الماء بمعدل ١٠ ملجرام / لتر ولكنه أكثر

اذابة في المذيبات العضوية. اللندين مبيد حشري ويستعمل على نطاق واسع لمقاومة الطفيليات الخارجية للانسان والحيوان والمباني والملابس والنباتات والبذور كما يستخدم اللندين في صناعة للشامبوهات ومقاومة حشرات الرأس وهو يتحلل ببطيء في المجال اللاهوائى للتربة وقد يستخدم في المياه من أجل مكافحة الناموس بما يحدث تلوث للمياه وقد يتطاير ويرسب مع مياه الامطار. واللندين يمتص بعد التعرض الفمى عن طريق الجهاز الهضمى أو للتعرض الجلدى ويعتبر الكبد والكلى هما الهدف الاول لتأثير اللندين السام بالاضافة الى تأثيرات جانبية سامة اخرى كالغثيان والقئ والتشنجات وضعف التنفس عند استخدامه لعلاج الجرب في الانسان بجرعات تتحرى على ١٠ جرام فى الكيلو لمستحضرات علاج الجرب. وقد قدرت القيمة الدليلة ٣ ميكرو جرام / لتر من مياه الشرب ولوصت معايير وزارة الصحة بقيمة ٢ ميكرو جرام / لتر.

#### و-الألاكلور : Alachlor

يستخدم كمبيد للحشائش فى زراعات القمح وفول الصويا وهو مادة قليلة الذوبان فى الماء ويمكن حدوث تلوث لمياه المجارى السطحية وكذلك مياه الخزانات الجوفية نتيجة استعماله. الألاكلور تم تقييمه كمادة يحتمل ان يكون مسببا للمسرطان بالاضافة الى ما يسببه من أمراض العيون والجهاز التنفسي والهضمي وقد اوصى بقيمة دليلة ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر ولوصت وزارة الصحة نفس القيمة فى مياه الشرب.

#### ز- الديكارب : (Aldicarb)

وهو مبيد حشري للهوام ويشمل مجموعة من الكيماويات منها (Aldicarb Sulfonate) وهو يستخدم أساسا فى زراعات القطن لمقاومة دودة وآفات يرقات القطن. الديكارب شديد الذوبان فى الماء ويمكن ان يحدث تلوث للمياه السطحية والجوفية من هذه المادة ويعتبر الديكارب أكثر المواد سمية عن باقى المبيدات والتعرض للرئيسى له خلال الاستنشاق لعمال الزراعة. وقد اقترحت وكالة البيئة

الامريكية قيم دليلة لمركبات الديكارب ٠,٠٦ ملجرام/لتر وأوصت وزارة الصحة بالا يزيد عن ٠,٠٢ ملجرام / لتر من مياه الشرب.

### ح - أترازين : Atrazine

يستخدم الأترازين كمبيد للحشائش فى زراعات القمح وفول الصويا وهو مركب قليل الذوبان فى الماء وقد وجدت آثار منه فى مجارى المياه السطحية وفى المياه الجوفية وقد تم تقييم الأترازين كمسبب محتمل للسرطان وقد وضعت منظمة الصحة العالمية قيمة دليلة للأترازين ٠,٠٣ ملجرام / لتر وأوصت وزارة الصحة بما لا يزيد عن ٠,٠٢ ملجرام فى مياه الشرب.

### ط - الميثوكسى كلور : Methoxychlor

الميثوكسى كلور مرتبط كيميائيا بمركب د.د.ت ويستخدم كمبيد حشري وان أصبح استخدامه شبه معوم. وهذا المركب قليل الذوبان فى الماء ولكن يوجد فى مياه المصارف واستخدامه الأساسى كمبيد لحشرات المنازل والحدائق وعند التعرض للميثوكسى كلور يصاب الانسان باضطرابات فى بعض الاجهزة الفسيولوجية وقد اوصت منظمة الصحة للعالمية بقيمة دليلة مقدارها ٠,٣ ملجرام / لتر كما اوصت معايير وزارة الصحة بقيمة لا تزيد عن ٠,٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

### ى - هبتا كلورو ايبوكسيد الهبتا كلور

وهذه المادة بيضاء وصلبة لها رائحة تشبه الكافور. وهى قليلة الذوبان فى الماء بيضاء إلا أنها تذوب فى كثير من المذيبات العضوية الغير أيونية. وهذا المركب مبيد حشري من الهيدروكربونات الكلورة المعماه بمبيدات حشرات السيكلودين. واستخدم لمكافحة حشرات التربة الزراعية ومكافحة النمل الأبيض وللأغراض المنزلية وبعد ان تأكد الأثر السرطاني فى بعض انواع حيوانات

التجارب فقد أوصت لجنة مشتركة من منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية بقيمة دليلة لهذا المركب فى مياه الشرب ٠,٠١ ملليجرام / لتر.

### ك-ثنائي كلوروفينوكسى حمض الخليك

يستعمل هذا المركب الكيمايى (Dichlorophenpxy Acetic Acid) فى مكافحة النباتات عريضة الأوراق ويستخدم كذلك كمنظم لنمو النباتات. وقد أبلغ عن تأثيرات ضارة نتيجة التعرض الصناعى منها الإجهاد والصداع وآلام الكبد وفقد الشهية. ويمكن إكتشاف المادة بالطعم والرائحة عند مستويات تركيز تبلغ ٠,٠٥ ملليجرام / لتر. وقد أعطيت له قيمة دليلة ٠,٣ ملليجرام/لتر فى مياه الشرب.

### ٣- البنزينات الكلورة: (Chlorinated Benzenes) ( $C_6H_5Cl_x$ )

يستعمل أحدى كلوروبنزين كمنظف واسع الانتشار كما يستخدم فى كثير من الصناعات الكيمايية مثل مبيدات الحشرات وصناعة الفينول ( $C_6H_5OH$ ) أما ثنائى كلوروبنزين فهو مادة وسيطة هامة فى صناعة الصبغات. ويستعمل دايكلوروبنزين كمنظف وكمبيد للهواء. ويستعمل ٤,١ دايكلوروبترين كطارد للعتة ومزيل للرائحة. كذلك يستعمل ٤,٢,١ تريكلوروبترين كمنظف وكسائل عازل للكهرباء (Dielectric) وكوسط ناقل للحرارة وكمبيد للحشرات. ومن بين مركبات رباعى كلوروبترين يستعمل ٥,٤,٢,١ تتراكلوروبنزين كمادة وسيطة فى الصناعات الكيمايية وإنتاج تريكلوروفينول. ولا يستخدم بنتا كلوروبترين. وبعض الكلوروبنزينات الاننى تتكون كمنتج ثانوى عند كلورة المياه. وأحدى الكلوروبترين مهيج للجهاز التنفسى كما انه مخمد للجهاز العصبى المركزى. ولم تتوفر المعلومات التى تفيد بأنه مسرطن. وقد وضعت القيمة الدليلة لهذا المركب فى مياه الشرب على اساس تأثير الرائحة والمذخول اليومى من مياه الشرب. وقدرت القيمة الدليلة بـ ٣ ملليجرام/لتر.

ويتكون دايكلوروبنزين من ثلاثة مركبات عطرية وهى ٢,١ دايكلوروبترين، ٣,١ دايكلوروبترين هما سائلان عند درجة الغرفة بينما ٤,١ دايكلوروبنزين مادة صلبة. وجميع هذه المواد متطايرة نسبيا والاستعمال الرئيسى للمركب ٢,١

دايكلوروبيزين كمذيب وكعامل وسيط في تخليق مواد الصبغة ومبيدات الأعشاب ومزيلات للشحوم وأهم الاستعمالات هو كمبيد للهولم.

استعمال ٤١ دايكلوروبيزين فهو كمزيل للرائحة والهولم وكمبيد حشري وكطارد للعتة. وأما باقى انواع الكلوروبيزينات تكون كمنتج ثانوى فى صناعة الموثوكلوروبيزين ( $C_6H_5CL$ ). وتصل مركبات الكلوروبيزين عن طريق الجهاز التنفسى والهضمى والجلد حيث تمتص، هذه المركبات تذوب فى الماء وفى الدهون بما يجعل انتشارها عالى فى معظم الأغشية والرئة والمعدة والأمعاء والكبد والكلية وتكون الاصابات السامة عن طريق الاستنشاق اساما والتعرض المهنى وذلك فى حالة الاسراف فى الاستخدامات المنزلية.

وكثيرا ما تصل هذه المواد الى المياه السطحية والجوفية ومياه الشرب والأطعمة. أجهزة الجسم المستهدفة من هذه المواد هى الكبد والدم والجهاز الشبكي الذى يشمل نخاع العظام ومكوناته المناعية والجهاز العصبى المركزى والمسالك التنفسية والجلد. ولهذه المواد أعراض سمية عامة مثل الضعف وفقد الشهية والغثيان والصرع وأعراض أخرى. ولا توجد أدلة لكون هذه المواد مسرطنة والقيم الدليلة للدايكلوروبيزين ٢٠١ هى ٠,٠٣ ملجرام /لتر ٤٠١ دايكلوروبيزين هى ٠,١ ملجرام / لتر من وزن الانسان ونصت معايير وزارة الصحة على ٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب. وذلك مع الأخذ فى الاعتبار حدود الرائحة لهذه المواد.

### ٣- بيزينات مكلورة أخرى ذات أسماء تجارية وهى مبيدات للحشاش

#### والمشراة وهى:

#### أ - سيمازين : Simanize

سيمازين مبيد للحشاش ويستخدم لإزالة النباتات المائية والطحالب وفى الحقول لبعض الحاصلات الزراعية. وهو مركب غير متطاير وقليل الذوبان فى الماء يوجد فى المياه السطحية وكذلك يتسرب الى المياه الجوفية ولهذا المركب تأثيرات صحية محدودة ومازالت الدراسة حول كونه مسرطن من عدمه على حيوانات

التجارب. ولم تحدد له قيمة دليلة. وقد حددت وزارة الصحة معايير السيمازين. في مياه الشرب الاتزيد عن ٠,٠٢ ملجرام / لتر.

#### ب- سيلفكس : Silvex

سيلفكس مبيد للحشائش واستخدم لإزالة النباتات المائية في المجارى المائية وقد ألغى استخدامه في العالم منذ عام ١٩٧٩ وهو مركب قليل الذوبان في الماء ويسبب اعراض مرضية مثل ضعف العضلات والارهاق كما ان له تأثير على الكبد والكلى وقد وضعت له معايير وزارة الصحة كحدود قصوى ٠,٠٥ ملجرام / لتر في مياه الشرب.

#### ج - توكسا فين : Toxa phene

استخدم التوكسافين كمبيد حشري على نطاق واسع وقد قل استخدامه حالياً لما ثبت من أنه مسرطن لحيوانات التجارب وأعطيت له قيمة دليلة في مياه الشرب ٠,٠٠٥ ملجرام / لتر ولم يرد ذكره في معايير وزارة الصحة الخاصة بالملوثات في مياه الشرب.

#### د- كيماويات أخرى

#### أ- الفينولات المكلورة والبنتاكلوروفينول (Chlorinated Phenols)

يستخدم خماسي كلورو فينول على نطاق واسع كمبيد للفطريات ولحفظ الأخشاب. وهو مادة صلبة تتصهر عند ١٩٠°م وهو قليل الذوبان في الماء عند درجة الحرارة العادية. يمتص خماسي كلورو فينول من خلال الجهاز الهضمي ومن الجلد. وتبلغ الجرعة المعوية القاتلة ٢٧ ملجرام / كيلو جرام من وزن الانسان. واعراض التسمم غزارة العرق والعطش وارتفاع في الحرارة ومسرعة النبض والتنفس. وقد يحدث تليف في الكبد والكليتين وحسبت له قيمة دليلة ٠,١ ملجرام / لتر في مياه الشرب. وهذا للمركب هو احد مركبات الفينولات المكلورة التي قد



توجد في مياه الشرب نتيجة تلوث مصادر المياه الخام أو نتيجة كلورة المياه المحتوية على مركبات فينولية. يمكن أن توجد الفينولات المكلورة في المياه الخام نتيجة افراغ الصرف الصناعي الغير معالج من عمليات تقطير الكوك وصناعة البتروكيماويات والعديد من الصناعات المستخدمة لمادة الفينول ( $C_6H_5OH$ ) كمادة وسيطة. عند كلورة المياه المحتوى على ملوثات من مادة الفينول تكون نواتج التفاعل الرئيسية ٢ أو ٤ مونوكلوروفينول، ٤ دا يكلوروفينول ٢,٤,٦ ترايكلوروفينول وتنتج مادة ٥,٤,٢. ترى كلورفينول كمبيد للفطريات، ٦,٤,٢ ترى كلورفينول كمطهر. والاستعمالات الرئيسية ٦,٤,٣,٢ نتراكلوروفينول كمبيد للحشرات لحفظ الأخشاب ويمكن أن تحتوى المياه الخام السطحية والجوفية على الفينولات المكلورة وإن كان مؤشر وجود هذه الكيماويات في الماء هو التغيير فى الطعم والرائحة ولكن يجب عدم الاعتماد عليها كلية. وتوجد الفينولات المكلورة في الطعام نظرا لاستخدامها كمطهرات في صناعة الألبان وقد توجد كذلك في مياه الشرب المكلورة المحتوية على ملوث الفينول ولهذا فقد نصت المعايير التى أصدرتها وزارة الصحة بخصوص صرف المخلفات السائلة على المجارى المائية العذبة الا يزيد تركيز الفينول عن ٠,٠٢ ملجرام / لتر. ويوجد الفينول فى مواد الحماية للمواسير من التآكل مثل مادة الكولتار والكولتار إيبوكى ولهذا يلزم الحذر وعدم استخدام هذه المواد للحماية الدخلية لمواسير نقل المياه حيث فى مثل هذه الحالات يتفاعل الكلور الحر مع الفينول الموجود فى مادة اللقار مكونا مادة الكلور فينول الضارة وذات الرائحة الغير مقبولة هذا بالإضافة الى تلف طبقة الحماية من الكولتار لفقد مادة الفينول منها. ونظرا لان هذه الملوثات من الفينولات المكلورة بعضها يصل الى المعدة عن طريق الطعام وبعضها عن طريق الاستنشاق ليصل الى الجهاز التنفسى. ولتفادى اثارها السلبية على صحة الانسان بعد ان ثبت على حيوانات التجارب زيادة حدوث معدل الاورام وأبيضاض الدم واصابات فى نسيج نخاع العظام والسرطانات الكبدية واورام الغدد ولهذا كانت التوصية بقيمة دليلة لهذه الملوثات من الفينولات المكلورة لتكون ٠,١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

## ب- الإندرين : Endrine

الأندرين من مجموعة المبيدات مثل الألدرين والكلوردين والهيبتاكلور وهو مبيد حشري شائع الاستعمال قليل الذوبان في الماء. الأندرين مثل باقي المبيدات الكلورية حيث يتراكم في المواد الغذائية وقد لوقف استعماله في الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٩٧٦ وقد يوجد في الماء وله آثار ضارة على الصحة العامة ولم تحدد له قيم دليلة لكونه غير مسرطن.

## ج- إبيكلوروهيدرين : Epichloro hydrin

وهو مركب من الإلكيلات الكلورية ويستخدم في صناعة المروبات المخلفة كما يستخدم في صناعة راتنجات الإيبوكسي بتفاعله في ظروف خاصة مع مادة البنزوفينول كما تستخدم هذه المادة كمذيب للراتنجات والبيويات والمواد الصمغية واللاكيهات وهو مركب قليل الذوبان في الماء وهو يمتص بسرعة ويتراكم في الكبد والكلى والبنكرياس كما أن التعرض بالنسبة للمستخدمين يسبب حساسية للعين والحنجرة والصداق وصعوبة التنفس وهذا ينتهي بتلف الكلى وقد ثبتت آثاره المسرطنة مع الاستنشاق أو الابتلاع وقد تحددت له معايير في مياه الشرب صفر مع أخذ الإجراءات الفنية اللازمة عند استخدامه كمروب في بعض الصناعات الغذائية.

## د- رابع كلوريد الكربون : Carbon Tetrachloride

يستخدم رابع كلوريد الكربون في حماية البذور وفي إطفاء الحرائق ومذيب في استخدامات التنظيف الجافة. وهو قاتل عند استنشاق <sup>٢</sup>سم منه. وهذا المركب يحدث أمراض للدم والكلى مع احتمال كونه مسرطن للإنسان طبقاً للنتائج التي أجريت على حيوانات التجارب وذلك مع احتمال تغير في أنزيمات الدم ومرض النقرص ويحدث التلوث للمياه الخام نتيجة تلوثها بوسائل الصرف الصناعي ومياه التنظيف من المغاسل للجافة وأوصى بقيمة دليلة من صفر إلى ٠,٠٠٥ ملجرام / لتر وأوصت معايير وزارة الصحة بقيمة ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر في مياه الشرب.

## ٥- أحماض الفليك المهلجنة

### أ- ثنائي كلورو حامض الخليك : Dichloro Acetic Acid

ينوب في الماء ويستخدم كمادة وسيطة في بعض الصناعات الدوائية وفي بعض الصناعات الكيميائية الأخرى وله آثار ضارة على هيموجلوبين الدم وأمراض العيون وضعف الأطراف وآلام الرأس ولم يثبت أنه مسرطن ويصل إلى الموارد المائية عن طريق الصرف الصناعي الغير معالج.

### ب- ثلاثي كلور حامض الخليك : Trichloro Acetic Acid

يستخدم مبيد للحشائش كما يستخدم في كثير من الصناعات الدوائية وهو سام لحبوانات التجارب ولم توضع له قيمة دليلة.

### ج- الأسيتونيتريالات المهلجنة : Haloacetonitriles

هذه تشمل كلورو أسيتونيتريل، ودايكلورو أسيتونيتريل، تريكلورو أسيتونيتريل، كلورو برومو أسيتونيتريل، دايبرومو أسيتونيتريل. وهذه المركبات الكيميائية تستخدم كمبيدات حشرية ومبيدات للفطريات ولها تأثير على الرئة والكبد والكلى كما تقلل من الكوليسترول في الدم. ولم تحدد لها قيم دليلة أو معايير.

## ٦- الميثانات المكلورة : (الترايهاالوميثان) Trihalomethanes

توجد ميثانات الهالوجينات الأربع (الكلور، الفلور، البروم، اليود) في مركبات شائعة هي الكلوروفورم والديكلوروبروموميثان والدايبروموكلوروميثان والبروموفورم. يمكن أن يصل مجموع هذه الميثانات المكلورة أو المهلجنة في مياه الشرب إلى ١٠٠ ملجرام / لتر. وقد تأكد أن الكلوروفورم يسبب السرطان في حيوانات التجارب. توجد الميثانات ثلاثية الهالوجين في الماء نتيجة التفاعل بين الكلور أو الوجود العارض لأيونات البروم مع المواد العضوية المذابة في الماء. ومن هذه

الهالوجينات الثلاثية التي تتكون نتيجة وجود الكلور في الماء التراكيلوروميثان. (Trichloromethane) والذي يزداد تركيزه مع زيادة درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني. وكذلك مادة الكلوروفورم الذي هو مخمد للجهاز العصبي المركزي ويؤثر على وظائف الكبد والكلى. والتأثير الفوري للكلورفورم هو فقد الوعي ثم الوفاة. وتعتبر الجرعة المميتة ٠,٦٣ جرام/كيلوجرام وزن الإنسان. وتناول مقدار صغير ٠,٤ جرام يسبب تهيج معوي وزيادة في إنقباض الأمعاء وكذلك التخدير الموضعي في القناة للمعوية. ولا توجد سوى معلومات ضئيلة عن التأثيرات السامة للميثانات ثلاثية الهالوجين الأخرى إلا أنه لوحظ الاقتران بين معدل وفيات سرطان المثانة ومستوى الميثانات ثلاثية الهالوجين. وقد أوصى بقيمة دليلية للميثانات الكلورة ٠,١ ملجرام / لتر وأهمها هو الكلورفورم الذي يوجد في مياه الصرف الغير معالج لصناعة الايروسولات والمبردات وكمذيب ولمقاومة الحشرات وصناعة المطاط والزيوت والراتنجات.

## القسم الخامس

### الاشعاعات النووية : Radionuclides

الاشعاعات النووية عبارة عن ذرات مشعة و التي عند انقسامها تنطلق الطاقة (النشاط الإشعاعي) والطاقة المتولدة تكون في أحد من ثلاث اشكال و هي:

- \* اشعاعات ألفا وهي تتكون من عدد كبير من نواة الهليوم.
- \* اشعاعات بيتا وهي تتكون من الكترونات لوپروتونات.
- \* اشعاعات جاما وهي عبارة عن اشعة مغناطيسية مشابهة لاشعة اكس.

وأى من هذه الاشعاعات الثلاث له تأثيره على جسم الانسان فأشعة ألفا ذات السرعة العالية التي تصل الى ١٠ مليون متر في الثانية وهي مدمرة عند ابتلاعها واشعة بيتا لها سرعة تماثل سرعة الضوء ونظرا لصغر كتلتها فإنها ذات قدرة اختراق اكبر ونسبة تدمير لقل من أشعة ألفا وأشعة جاما لها قدرة اختراق عالية ولكن تأثيرها محدود عند المستويات المنخفضة.

والإشعاعات تقاس بوحدات الكورى (ci) واليراندز (rads) أو بالرمز رمز (rems) وحدة الكورى تساوى  $3.7 \times 10^{10}$  تحركات ذرية في الثانية. جرام واحد من الراديوم له نشاط واحد كورى وبالمقارنة فان واحد جرام من اليورانيوم  $238 = 0.36 \times 10^{-6}$  كورى والراد هو مقياس للجرعة الممتصة فى الانسجة أو المادة، وراد من جسيمات ألفا يسبب تدمير أكثر من راد من جسيمات بيتا. الـرم (Rem) هو مقياس لتأثير الجرعة الاشعاعية فالاشعاعات للمساوية عند تقييمها

بالرم تحدث نفس التأثير البيولوجي بصرف النظر عن نوع الاشعاعات المؤثرة. وخروج اشاعات ألفا وبيتا من العنصر يؤدي الى عنصر اخر بينما لا يحدث ذلك عند خروج جاما. والعنصر المشع الذى يتحول ويتأكل يسمى النظير او الايزوتوب (isotope) او الاب او الاصل (Parent) والعنصر الجديد يسمى بالمولود او الناتج (pregny). تتأكل النظائر المختلفة بمعدلات مختلفة. نصف العمر للنظير المشع هو الزمن اللازم لتأكل نصف عدد الذرات الموجودة ويتراوح ما بين ملايين السنين الى ملايين الثوان. النظائر ذات نصف العمر الاطول لديها نشاط اقل (مقيم كوحداث الكورى) والنظائر ذات النصف العمرى القصير جدا ليست هامة لانها لا تؤثر على شبكات توزيع المياه ولا تحدث بها اى تحول. النشاط الاشعاعى قد يحدث فى المياه اما طبيعيا او صناعيا بفعل الانسان والاشعاعات الطبيعية ترجع لوجود عناصر فى التربة أو من الاشعة الكونية (Cosmic) المنتشرة فى الفضاء اما الاشعاعات بفعل الانسان تعود الى ثلاث مصادر وهى الانشطار النووى من التجارب النووية، الاشعاعات من المستحضرات الطبية وكذلك امتلاك واستخدام الوقود النووى. وتوجد اكثر من مائة نوع من الاشعات النووية بفعل الانسان فى المياه ولكن لم يستدل منها إلاعلى الاسترنتشيوم والتريتيوم وتشمل سلسلة التآكل الطبيعى اشعاعات ألفا بينما سلسلة التآكل بفعل الانسان تفقد الى اشعاعات ألفا مع بعض الاستثناءات البسيطة مثل (الامريكين ٢٤١ البلوتنيوم ٢٣٩) ويستقبل الانسان جرعة بسيطة مقدارها ٢٠٠ مليريم من جميع المصادر.

وقد قدرت وكالة البيئة الامريكية ان مياه للشرب تمثل من ٠,١ الى ٣ % من الجرعة السنوية للشخص الواحد. وقد تؤثر الظروف المحلية على هذه النسبة وتوجد مصادر لمياه الشرب توفر جرعة سنوية مؤثرة تعادل ١٠٠ مليون ريم فى العام. وطبقا للتأثيرات الصحية والتواجد فى الماء فان المواد المشعة ذات العلاقة الاكيدة هى راديوم ٢٢٦، راديوم ٢٢٨، يورانيوم ورادون ٢٢٢. وهذه كلها نظائر مشعة موجود فى الطبيعة والراديوم ٢٢٨ باعث لاشعة بيتا والتى تتآكل نتيجة سلسلة من السلاطات الباعثة لاشعة ألفا بينما الباقي جميعا باعث للآلفا واليورانيوم الطبيعى يحتوى على اليورانيوم ٢٣٤، يورانيوم ٢٣٥ يورانيوم ٢٣٨ ولكن يمثل يورانيوم ٢٣٨ حوالى ٩٩,٢٧% من النسبة الكلية لليورانيوم الطبيعى.

النشاط الإشعاعي له تأثير مباشر على جسم الإنسان وكذلك تأثير بعيد المدى أو الوراثي والذي يؤثر في نسل للشخص المعرض. والتأثيرات الجسمية تشمل السرطنة وترجع الآثار المسرطنة للإشعاعات ألفا وبيتا وجاما على الخلية إلى تحلل مكونات الخلية وحدث تغييرات غير عادية. وتعتبر كل المواد المشعة مسرطنة. ورغم هذا فإن هدفها يختلف حيث يتعامل الراديوم ٢٢٦ مع العظام والراديوم ٢٢٦ مع الرأس أما الراديوم ٢٢٢ فهو غاز يمكن استنشاقه أو الوصول إلى الأمعاء وتوجد علاقة بينه وبين سرطان الرئة. واليورانيوم مثل الراديوم يتراكم في العظام وغير مسرطن وإن كان هناك اتجاه لاعتبارهما مسببان للسرطان. اليورانيوم سام ويسبب الفشل الكلوي. المعالجة لمياه الشرب في حالة التعرض الزائد للراديوم هي في عمليات إزالة العسر باستخدام الصودا الجير (Soda-Lime process) أو بالتبادل الأيوني أو التناضح العكسي (Rererse-Osmosis) وبالنسبة للراديون الذي يوجد في الطبيعة في بعض الخزانات الجوفية فإن التهوية للمياه الجوفية تحقق نسبة إزالة عالية والمعالجة التقليدية بالمرشحات باستخدام المروبات تحقق إزالة مقبولة كذلك بالنسبة للراديوم ولذلك يجب التخلص الآمن من الروبة (Sludge) الناتجة عن معالجة المياه بالمرشحات وكذلك راتنجات التبادل الأيوني المستهلكة بطريقة تتفق مع معايير السلامة البيئية والتي حددتها منظمة الصحة العالمية للراديوم ٢٢٦ - ٣ × ١٠ كوري والامترنسيوم ٩ - ١٠ × ١٠ كوري.





## القسم السادس

### الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة

#### مقدمة :

إن أكبر الاخطار المصاحبه لمياه الشرب لانتشاراً هو التلوث المباشر او الغير المباشر بمياه الصرف الصحي او غيرها من الملوثات التى تحمل غائط الانسان أو الحيوان أو الطيور اى نوات الدم الحار (Warm Blooded Animals). فاذا كان هذا التلوث حديثا وكان من اسهم فيه حمله الأمراض المعدية السارية فإن شرب المياه الملوثة على هذا النحو أو استعماله فى إعداد أطعمة معينة قد ينجم عنه حالات من العدوى والأوبئة.

والتلوث الغائطي لمياه الشرب يعمل على لخلال كثير من الامراض المعدية - الجرثومية والفيروسية والطفيلية والذي يرتبط وجودها بما هو موجود فى ذلك الوقت فى المجتمع المحلى من الأمراض التى تسببها هذه الكائنات ومصادرها كما هو فى الجدول الموضح. والذي يشمل انواع البكتريا والفيروسات المعوية والبروتوزا والطحالب.

جدول ( ٤ ) للكائنات الحية الدقيقة والأمراض التي تسببها ومصادرها

| أنواع الكائنات الحية الدقيقة                             | الأمراض التي تسببها  | المصادر الرئيسية لهذه الكائنات  |
|--|--|---|
| <u>البكتريا</u><br>سالامونيتلا<br>الشيجيلا<br>أنواع أخرى | حمى التيفود و البرا تيفود الكوليرا<br>والدستاريا<br>أمراض معوية وتنفسية و رئوية  | غائط الانسان الحامل للمرض<br>غائط الانسان الحامل للمرض<br>غائط الانسان والحيوان |
| <u>الفيروسات</u><br>أنواع مختلفة من<br>الفيروسات         | تسبب امراض شلل الاطفال والالتهاب<br>السحلي وأمراض الجهاز الهضمي<br>وأمراض الجهاز التنفس والتهاب معوي<br>والتهاب كبدي وبائي | غائط الانسان  |
| <u>البروتوزوا</u>  | التهاب المخ والتهاب سحلي<br>والدستاريا، الالتهاب للمعوي، أمراض<br>معوية  | غائط الانسان و الحيوان  |
| <u>الطحالب</u>   | أمراض للزلات المعوية   | المياه الطبيعية   |

وكذلك قد تسبب كائنات حية دقيقة أخرى توجد بشكل طبيعي فى البيئة ولا تعتبر من الممرضات أمراضا عرضيه يغلب انتشارها بين من يعانون من اختلال فى مراكز المخ والأرجح أن يكون ذلك مع المتقدمين جدا فى السن والأطفال الصغار. ومن هذه الأمراض امراض الجلد والاعشيه المخاطية للعين والانف والاذن والحجرة.

وتشمل طرق نقل الممرضات من الكائنات الحية الدقيقة. تناول المياه والاطعمة الملوثة ومخالطة المرضى من الانسان او الحيوان. وتختلف أهمية الماء فى انتشار العدوى المعدية اختلافا كبيرا طبقا لنوع المرض والظروف البيئية وعلى الرغم من أن مرض المستناريا والأمراض المعويه الأخرى الذى تنقله بكتريا الشجيلا قد ينتقل من شخص إلى آخر فى الظروف المعيشية المزدحمة. الكوليرا

تنتقل عن طريق الماء وحمى التيفود والبرص تفتقد تنقلها بكتريا السلماونىلا عن طريق الطعام.

ويوجد مدى واسع من المستويات الصغرى للجرعة المعديه اللازمة لاحتداث العدوى عند الانسان فان قدرا ضئيلا من بكتريا السلماونىلا الحاملة يسبب عند تناول مرض التيفود وكذلك يختلف حجم الجرعة المعديه لادى مختلف الأشخاص تبعاً للسن والحالة الصحية وقت التعرض.

ويجب ان يؤخذ فى الاعتبار العوامل الاخرى للانتقال غير مياه الشرب نظرا لأن استخدام ماء الشرب المأمون فى حد ذاته لا يمنع العدوى بالضرورة دون أن يصاحب ذلك تحسن فى السلوكيات والعادات الشخصية بما يعطى ضرورة هامة بالتعلم البسيط لحفظ الصحة.

## ١- أنواع الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض

### ١- البكتريا

البكتريا كائن حى وحيد الخلية وليس له معالم النواه وهذه الخلية خالية من الكلورفيل وتتكاثر بالإنقسام. والبكتريا تستطيع ان تتشكل فى جميع الصور فمن مجرد الشكل المستدير الى المستطيل وكذلك ذات الاطراف الشعبيه وتسبب بعض انواع البكتريا امراض كثيره وخطيره للانسان والبكتريا الخاصة بمياه الشرب هى الشيجيلا والسلماونىلا والفيبرو كوليرا.

### ب- الفيروسات

الفيروسات ليست خلايا ولكنها أجسام بروتينية تحيط بحامض نووى (Nucleic- Acid) ومن خصائص الفيروسات انها تعتمد كلياً على الخلايا الحيه فى التكاثر. ويوجد أكثر من ١٠٠٠ نوع من الفيروسات منها مجموعة الفيروسات المعوية التى تصيب الجهاز المعوى للانسان وحياتيا الحيوان نتيجة التلوث بافرازات الانسان او الحيوان الحامل للمرض واهم هذه الفيروسات فى مياه الشرب

هو فيروس التهاب الكبدى الوبائى. وعملية التعرف على الفيروسات بالتحاليل المعملية المختلفة ليست سهلة. الفيروسات تزال بنسبة كبيرة جدا فى عمليات معالجة المياه بالمرشحات. حيث تزال مع الاجسام العالقة ولتى تختبئ فيها الفيروسات. فيروس التهاب الكبدى الوبائى لكثير مقاومة لعملية التطهير بالكلور مع زيادة زمن المكث (Contact-time) وزيادة للجرعة وهناك العديد من الفيروسات منها فيروس الانفلونزا، وشلل الأطفال، الإيدز، التهاب الدماغ، امراض جلدية... الخ.

### ج - البروتوزوا

هى كائنات حيه وحيدة الخلية وليس الخلية جدار وهى دائمة الحركة وتوجد أنواع كثيرة منها وتسبب البروتوزوا أمراض للإنسان. ومن بين البروتوزوا الضارة الجياردا لاميلا، الانتاميبا هستوليبكا. والجياردا طفيل وحيد الخلية يتحرك بالاسواط ويعيش فى الأمعاء الدقيقة والغليظة للإنسان ويبلغ طوله ٩-١٦ ميكرون عرضة ٩-١٢ ميكرون وتحدث الإصابة به نتيجة ابتلاع الطور المعدى وهو الطور المتحوص (Cyst) عن طريق شرب الماء أو الطعام الملوث. والجياردا تحدث اضطرابات فى القناة الهضمية. أما الانتاميبا هستوليبكا المعروفة بالدوستاريا الأميبية فهو ضئيل مجهرى يبلغ قطره ٢٠ - ٤٠ ميكرون ويتكون من خلية واحدة وتحدث الإصابة عند تناول الإنسان ماء أو طعام ملوث ويأخذ الطفيل الذى يعيش أساسا فى الأمعاء الغليظة للإنسان فى مهاجمة الغشاء المخاطى المبطن للأمعاء الغليظة ويفرز خمائر تذيب جدار الأمعاء، ويسبب أمراض للأمعاء والكبد والغشاء البريتونى. وعمليات المعالجة بالمرشحات تزيل كلاً من البروتوزوا بأنواعها والحويصلات (Cysts) بكفاءة تصل الى ٩٩% وخاصة إذا كانت قياسات العكارة أقل من واحد نيفيلومترى.

### د - الديدان

اكتشفت انواع كثيرة من بيض الديدان ويرقاتها فى مياه الشرب وهى تنتقل بطرق أخرى غير مياه الشرب الى جسم الانسان ويمكن لبرقة واحدة ناضجة او بيضه مخصبه أن تحدث للعدوى ولذلك يجب أن تكون مياه الشرب خالية منها

جميعاً ويمكن تحقيق ذلك على أفضل وجه بحماية المصدر المائي من التلوث للغاطى وهذه الديدان لا يمكن عمل الفحص الروتيني لها. أما إذ وجدت طريقها إلى المياه الخام فإنها تزال بنسبة عالية عند المعالجة بالمرشحات وخاصة عند استعمال مرشحات الرمل البطينية في حين ان جميعها مقاومة نسبياً للكلور لاسيما دودة الاسكارس.

#### هـ- الكائنات حرة العيش : Freelifving Organisms

وتشمل الكائنات حرة العيش ذات الالهية بوجه عام فى امدادات المياه العوالق (Plankton)، اللاقريات الكبرى. وتتكون العوالق من كائنات عالقة فى الماء منها العوالق للنباتية والعوالق الحيوانية. أما العوالق النباتية فتشمل الجراثيم والفطريات والطحالب حرة العيش ذات الكلوروفيل والتي تنمو بالتتمثيل الضوئى ولها لوان مختلفة وهى ذاتية التغذية وتتكون من خلية واحدة أو مستعمرة من الخلايا وتكون متحركة أو غير متحركة. الفطريات والجراثيم غير ذاتية التغذية الى حد كبير. والعوالق الحيوانية تتكون من البروتوزوا وكائنات اخرى كثيرة وتشمل كذلك يرقات بعض الحشرات المائية والاسماك فى اطوار حياتها الاولى.

وكائنات العوالق لها اهميتها فى المياه لأنها تتدخل مع عمليات المعالجة للمياه وتنتج مواد سامة للانسان وتحمى وتلوى الجراثيم للممرضة وتفرز مواد عضوية يمكن ان تتحد مع الكلور فى الماء مكونه مواد عضوية مكلورة (الهالوميثانات المكلورة). وقد تثير الطحالب مشكلات بسبب وجودها فى مجارى المياه السطحية وكذلك فى خزانات المياه المعالجة والمعدة للشرب والاستخدام المنزلى وكذلك يمكن ان توجد هذه العوالق فى ابار المياه السطحية المكشوفة.

وبعض الطحالب له تأثير على الصحة العامة وتوجد الانواع السامة فى مجموعتين هما الخضراء التى تميل إلى الاصفرار والخضراء التى تميل إلى الزرقاء والتي هى أكثر سمية. المواد السامة التى تطلقها الطحالب قد لا يوقف تأثيرها عمليات المعالجة بالمرشحات واستخدام الكلور. كذلك لم تتجح عمليات المعالجة فى حالة استخدام الكربون المنشط. الطحالب الخضراء التى تميل إلى

الزرقة تسبب إلتهاب المعدة والإمعاء كما يمكن أن تكون مصادر الكيماويات السامة تتحد مع الكلور مكونة الميثانات الكلورة. وجود الطحالب في إمدادات مياه الشرب غير مقبول من الناحية الجمالية، وقد تتدخل الطحالب مع معالجة المياه بزيادة الكلور المطلوب فتسبب مشكلات تتعلق بالطعم والرائحة وانسداد في المرشحات بما يقلل من كفاءتها.

وقد يشكل نمو الطحالب النباتية أو الحيوانية مصدرا طبيعيا للرائحة والطعم، وفي المياه السطحية تمثل الطحالب المشكلة الرئيسية بينما قد تتكاثر الأشكال الحيوانية في المياه السطحية وفي خزانات المياه وكذلك في شبكات المواسير. وكثيراً من الطحالب يفرز زيوتا عند نشاطها التتموى أو عندما تتحلل خلاياها الميتة وهذه الزيوت تضيف مزاقا ورائحة للمياه بالإضافة إلى ما تسببه من أمراض معوية للإنسان وأمراض الحساسية وكذلك فإن تكاثرها له تأثير كبير على الثدييات والطيور والأسماك حيث يمكن أن تؤدي إلى الوفاة أو المرض. ونظرا لما تسببه الكائنات حرة العيش من تأثيرات ضارة بالصحة ومشاكل خاصة بالذوق والرائحة والشكل الجمالي للمياه، ولم يتم التوصل الى معايير بخصوصها. لذلك فإنه يوصى بالزراعة الكائنات حرة العيش من مياه الشرب حيثما كان ذلك ممكنا، ويتم ذلك بحماية المصدر المائي وإتخاذ إجراءات جيدة لحماية المصدر ومعالجة المياه وتنظيف الشبكات ومراقبة نوعية المياه.

## ٢- الكشف عن تلوث المياه بالكائنات الحية الدقيقة

ان التعرف والعزل لكائنات حية دقيقة معينة هو خارج إمكانيات معظم معامل محطات إنتاج مياه الشرب ولذلك فإن حماية الصحة العامة تتم من خلال التطبيق الجيد لتقنيات المعالجة. ونظرا للصعوبات الفنية ولأن الكائنات الحية المسببة للأمراض قد تكون بكميات قليلة جدا مقارنة بباقي الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الماء لذلك استخدمت بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة كمؤشر لقياس اثر عمليات المعالجة أي تقييم كفاءة عمليات المعالجة وصلاحياتها لمياه الشرب والمهمة

الاولى للكائنات الدقيقة كمؤشر هو توفير دليل للتلوث الغاطى الحديث من نوات الدم الحار. ومعايير استخدام الكائنات الحية الدقيقة كمؤشر هي:

١- أن يكون هذا الكائن الحى الدقيق موجودا دائما طالما وجدت كائنات حيه ممرضة.

٢- أن يكون موجودا فى المواد الغاطية بكميات كبيرة.

٣- ألا يكون موجودا فى المياه النظيفة والغير ملوثة بكائنات ضارة.

٤- أن يتأثر بالظروف البيئية وبعمليات المعالجة بنفس الدرجة التى تحدث للملوثات من الكائنات الدقيقة الممرضة.

٥- ان تكون النسبة بين الكائن الدقيق المؤشر الى الكائنات الدقيقة الممرضة عالية.

٦- ان يتوفر كلا النوعين من الكائنات الدقيقة المؤشر والممرضه فى مصدر واحد وقد تم تقييم للكائنات الدقيقة كمؤشر وذلك لكل من الكائنات للقولومية (Coliform) الكلية والقولونيات للغاطية (Fecal Coliform).

٧- أن يكون من السهل عزلة والتعرف عليه وعدة.

وقد ثبت مناسبة استخدام الكائنات القولونية الكلية كمؤشر.

#### أ- البكتريا القولومية الكلية : Total Coli Form

وهذه تشمل جميع البكتريا الهوائية والمختلطة ذات الشكل العصوى والتى تخمر اللاكتوز مع تكوين غازات عند درجة حرارة ٣٥° م لمدة ٤٨ ساعة. والقولونيات الكلية تشمل بكتريا الاشريكية القولونية (E.Coli) والتى هى متعددة فى غائط نوات الدم الحاربالاضافة الى انواع اخرى موجودة بكثرة فى مياه الصرف معظم مصدرها التربة والنبات.

ولا يوجد كائن حى وحيد دقيق يصلح كدليل أو مؤشر لوجود البكتيريا سوى البكتيريا القولونية، وسليبات القولونية الكلية هو إعادة نموها فى الماء وكذلك فى حالة وجود البكتيريا للمرضة (Hepatitis) بأعداد كبيرة فإنها تعيق نشاط البكتيريا القولونية. وإخيرا فقد يبدو أن عددا من الكائنات الجرثومية الممرضة تكون أكثر مقاومة من الكائنات القولونية سواء أثناء المعالجة للمياه أو فى المياه الطبيعية وخاصة حويصلات البروتوزوا (Cysts) والفيروسات الممرضة. ورغم هذه السليبات فإن قياس القولونيات الكلية كمؤشر مازال أكبر دليل مفيد وعملى عن النوعية البكتيرية لمياه الشرب وأن عدد القولونيات فى المياه يمكن عدّه.

#### ب - البكتيريا القولونية الغائطية (Fecal Coliform)

أن وجود البكتيريا الغائطية يعطى دلالة على وجود البكتيريا الممرضة الغائطية (fecal pathogens) أكثر من البكتيريا القولونية الكلية. والبكتيريا الغائطية هى أحد مكونات البكتيريا القولونية الكلية ويمكن التعرف عليها بعمل إختبارات ارتفاع درجة الحرارة (٤٣-٤٤,٥ م). ورغم أن هذا الإختبار يعطى دلائل بوجود البكتيريا ذات المصدر الغائطى إلا أنه لا يميز بين مصادر التلوث سواء كان آدميا أو حيوانيا. عدد البكتيريا القولونية الغائطية أقل من عدد البكتيريا القولونية الكلية، وهى ليست مستعملة كمؤشر لمعايرة التلوث فى المصدر المائى أو كفاءة التطهير أو التلوث بعد المعالجة النهائية.

#### ج - العقديات الغائطية : Fecal Streptococci

وهذه يمكن الاسترشاد بها كدليل للتلوث الغائطى حيث تفيد أحيانا فى تحديد مصدر التلوث الغائطى وفى تقييم مدى فعالية عمليات المعالجة.

#### ٤ - الكشف على الكائنات الحية الدقيقة و التخلص منها

تستخدم طريقة الانانبيب المتعددة أو الترشيح الغشائى للكشف عن البكتيريا القولونية الكلية والقولونية الغائطية وهذه الطرق تستغرق فترة زمنية حوالى ٤٨ ساعة وهناك طرق سريعة لاكتشاف القولونيات الغائطية فى شبكة المياه عند حدوث



الإصلاح فى المحطات او الشبكات. وفى هذه الطريقة يستخدم فى الترشيح الغشائى مستتبت لاکتوز / منتول عالى الدرئ (Mannital meduimHighly Buffered Lactose).

ولحماية مياه الشرب من الفيروسات التى يمكن ان تسبب امراضا معدية فان ذلك يتم من خلال استخدام مصدر مائى خالى من مياه الصرف ومحقق له الحماية من التلوث الغائطى او للمعالجة الملائمة. إلا أنه لايمكن تقييم كفاءة الرصد والتحليل والمعالجة لخلو المياه من الفيروسات بالدرجة التى تحمى من غلب الفيروسات. ومع ذلك فان المياه تعتبر عولجت معالجة كافية إذا تم استيفاء الشروط التالية:

• الوصول فى مراحل المعالجة إلى درجة عكارة أقل من وحدة عكارة بمقياس نيفيلو مترى (NTU)

• تطهير المياه بجرعة كلور تحقق كلور حر زائد مقدارة ٠,٥ ملجرام / لتر مع زمن التصاق (Contact Time) مقدارة ٣٠ دقيقة فى مجال رقم هيدروجينى أقل من ٨.

وقد تبين ان الأوزون مطهر فعال بالنسبة للفيروسات وهو يفضل للمياه النظيفة اذا وجد أوزون متبقى قدره ٠,٣ - ٠,٤ ملجرام / لتر لمدة اربع دقائق. ولالأوزون مزايا تفوق الكلور بالنسبة للمياه المحتوية على النشاير والتى يؤكسدها الأوزون الى غاز النيتروجين ولكن لسوء الحظ لا يمكن الاحتفاظ بأوزون متبقى فى شبكة التوزيع. ولاتزال استعمالات الطرق الروتينية لرصد الملوثات القولونية والفيروسية قائمة حيث ان الرصد للفيروسات يتطلب إمكانيات معملية لاختبار كميات من المياه قد تصل من ١٠٠ الى ١٠٠٠ لتر على سبيل المثال.

وقد ثبت كما سبق ان اشرنا انه يمكن الحصول على ماء خالى تماما من الفيروسات من مصادر ملوثة بالغائط عندما يكون تركيز الكلور المتبقى ٠,٥ ملجرام / لتر على الأقل لمدة التصاق لا تقل عن ٣٠ دقيقة وعند رقم هيدروجينى أقل من ٨، على اساس اختبار العكارة بمقياس النيفيلو مترى أقل من واحد وكذلك

الاحتفاظ بكلور حر متبقى في شبكة التوزيع قدره ٠,٢ الى ٠,٥ ملجرام / لتر لتقليل أخطار النمو البكتيرى ولتوفير الدليل بعدم وجود ملوثات بعد المعالجة. ونظرا للمقاومة الكبيرة لحويصلات (cyst) أو البيضة الجارديا للامبيلا وغيرها من البروتوزوا المسببة للأمراض المعوية للكلور وهذه الحويصلات تمثل الاطوار الاولى للبروتوزوا ولذلك فإن عدم وجود البكتيريا القولونية لا يعتبر دليل بعدم وجود هذه الحويصلات وهذه الاطوار الاولى للجارديا (الحويصلات) يمكن التخلص منها في معالجة المرشحات حيث ان كفاءة الاداء للمرشح واختبار الوسط الترشيحي المناسب وتنظيم الغسيل العكسي هي اهم طرق التخلص من هذه الحويصلات وكذلك فإن البروتوزوا في مراحل النمو المتقدم تزال في المرشحات وتقتل بالكلور ويستمر قتلها في الشبكة بالكلور المتبقى.

المياه الجوفية على اعماق متوسطة اى حوالى ٥٠-٦٠ متر او اكثر من سطح الارض تكاد تكون خالية تماما من الملوثات الجرثومية فالبكتيريا القولونية والغائطية والبروتوزوا والطحالب أما أن تحتجز في مسام التربة أو ان تموت وتحلل لا هوائيا لعدم وجود اكسجين في مسام التربة. والفيروسات تعيش اساسا على الخلايا الحية التى تحتضنها وهذه كذلك تموت وتحلل لا هوائيا فى التربة وبعد موت الخلية سواء للنباتية او الحيوانية فإن الفيروس يموت بعد ذلك بفترة زمنية من ٣٠ - ٦٠ دقيقة. وحويصلات الجارديا كذلك اما ان تحتجز في مسام التربة أو أن تحلل او تحتجز كذلك اطوارها المتقدمة ولذلك فإن طبيعة التربة ومسامها لها تأثير كبير فى حجز والتخلص من الكائنات الدقيقة الحية الممرضة قبل وصولها الى الخزانات الجوفية على اعماق اكثر من ٦٠ متر. ولهذا فإن حماية البئر وحرم البئر من تسرب مياه الصرف وكذلك التنفيذ الجيد للبئر بما يمنع من تسرب مياه الرش فى الفاصل بين قطر الحفر والجسم الخارجى للقيسون ومن ثم منع وصول الملوثات البكتيرية الى المياه الجوفية التى يتم سحبها. ولكن يمكن ان تصل هذه الملوثات الى شبكة التوزيع فى حالات الاصلاح والصيانة ووصول المياه فى التربة الى الشبكة وهذا يتطلب الغسيل الجيد للشبكة بعد الاصلاح بتدفقات مياه عالية لازالة الرواسب الملتصقة بالسطح الداخلى للمواسير التى تحتضن الكائنات الدقيقة وتحميها لتتكاثر هذا مع الاهتمام باستخدام جرعة زائدة من الكلور مع زمن التصاق ١-٣ ساعة ثم

غسيل الشبكة بمياه الشرب المعالجة مع مراعاة وجود كلور متبقى في الشبكة من ٠,٢ الى ٠,٥ ملجرام / لتر. لهذا فانه رغم خلو المياه الجوفية على اعماق تزيد عن ٦٠ متر من الكائنات الممرضة الا ان هذا لا يمنع من اضافة جرعة الكلور قبل ضخها في الشبكة مع المحافظة على كلور متبقى على طول مسار الشبكة بما قيمته ٠,٢ ملجرام / لتر عند صنوبر اخر مستهلك.

### ٣- القيم الدليلة لجودة مياه الشرب وغلوها من الكائنات الحية الدقيقة

القيم الدليلة الموضحة في الجدول الاتى هى دليل للاخذ به طبقا لتوصيات منظمة الصحة العالمية نحو جودة مياه للشرب ولضمان سلامة الامدادات بها وغلوها من الكائنات الحية للدقيقة الممرضة سواء كان الامداد من خلال شبكة المواسير او بغيرها او معبأة في زجاجات.

جدول (٥) معايير الكائنات الحية الدقيقة مسببة الامراض التى اصدرتها وزارة الصحة

| المعايير | الوحدة                      | الكائنات الحية الدقيقة           |
|----------|-----------------------------|----------------------------------|
| صفر      | الحد فى ١٠٠ سم <sup>٣</sup> | القولونيات الكلية ( الكوليفورم ) |
| صفر      | الحد فى ١٠٠ سم <sup>٣</sup> | القولونيات الفعاطية ( Fecal )    |

جدول (٦) القيم الدليلة من الكائنات الحية الدقيقة لجودة المياه

| ملاحظات  | الحد فى ١٠٠ سم <sup>٣</sup> | الكائنات الدقيقة   |
|--|-----------------------------|--|
| المكارة ولحد بمقياس بنفيلومترى التطهير بالكلور بفضل رقم هينروجينى ٨، للكلور المتبقى ٠,٢ - ٠,٥ ملجرام / لتر مع زمن للتصاق لا يقل عن ٣٠ دقيقة. | صفر                         | ١- المياه المنقولة فى المواسير<br>أ- الماء المعالج الدخل الى الشبكة.<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الفعاطية |
|  | صفر                         |  |

تابع جدول (٦) القيم الدليلة من الكائنات الحية الدقيقة لجودة المياه

| ملاحظات  | العدد في<br>١٠٠ سم <sup>٣</sup> | الكائنات الدقيقة   |
|--|---------------------------------|--|
| ب- الماء غير المعالج للدخل الى الشبكة.<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الغائطية | ٣<br>صفر                        | في عينة احيانا وليس في عينات متعاقبة<br>في ٩٥% من العينات خلال سنة               |
| ج- الماء غير المعالج فى شبكة للتوزيع<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الغائطية   | ٣<br>صفر                        | في عينة احيانا وليس في عينات متعاقبة<br>في ٩٥% من العينات المختبرة خلال<br>السنة |
| ٢- امدادات غير منقولة فى المواسير:<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الغائطية     | ١٠<br>صفر                       | يجب الايتكرر وان تكرر يتم البحث<br>عن بديل                                       |
| ٣- مياه الشرب المعبأة فى زجاجات<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الغائطية        | صفر<br>صفر                      | يجب خلو المصدر من اى تلوث<br>غائطى   |
| ٤- موارد مياه فى حالة الطوارئ<br>* الكائنات القولونية الكلية<br>* الكائنات القولونية الغائطية          | صفر<br>صفر                      | ينصح الاهالى بخلى الماء اذا لم يمكن<br>التوصل الى القيم الدليلة                  |

الباب الثانى

**تنقية مياه الشرب**



## الباب الثاني

### تنقية مياه الشرب

#### مقدمة :

إن مصادر مياه الشرب وإن كانت آمنة في الماضي إلى حد ما، إلا أن تعرضها للتلوث قد ازداد أخيراً مع زيادة الكثافة السكانية والأنشطة للتنمية وما تسببه من تلوث لمصادر المياه السطحية والجوفية. ومصادر الملوثات الرئيسية هي مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي. وسواء كانت هذه الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية أو من المواد العضوية أو الفير العضوية للعائلة أو المذابة أو السامة التي في معظمها من أسباب الأمراض المزمنة والمسببة كذلك للعكارة واللون في المياه. أو أن تكون هذه الملوثات من المواد المشعة المعرطنة. فإن لكل من هذه الملوثات حدوده القصوى في مياه الشرب لتصبح صحية مستساغة وغير ضارة. وتتحدد خطوات تنقية المياه لاعدادها للشرب بعد تعيين نوع وكمية التلوث في مصدر المياه ثم تحدد خطوات المعالجة لاعداد المياه للشرب لإزالة هذه الملوثات أو تقليل نسبتها إلى درجة النقاء المطلوبة طبقاً للمعايير المقررة لمياه الشرب والاستخدام المنزلي. وسواء كان مصدر المياه هو المياه العكرة من المجاري السطحية العذبة أو من الخزانات الجوفية أو من البحار أو أي مصدر آخر. فإن الملوثات توجد عموماً في أربع صور عامة وهي:

## ١- مواد صلبة عالقة :

وهذه المواد الصلبة العالقة أما إن تكون من مركبات عضوية أو غير عضوية وهي من مسببات العكارة واللون للمياه، كما يعلق بهذه المواد كثير من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (Pathogens). والعكارة في المياه توجد في المصادر السطحية للمجارى المائية العذبة ويمكن أزالها عند المعالجة التقليدية بالمرشحات باستخدام كيماويات الترويب والترسيب.

## ٢- غازات مذابة :

وهي التي تسبب سوء الرائحة والمذاق. وهذه الغازات المذابة ناتجة عن تلوث المصدر المائي بالملوثات العضوية. تنتشر ظاهرة الغازات المذابة في المياه الراكدة وفي المياه الجوفية. وهي تزال أساسا بالتهوية للمياه في أبراج التهوية كما أن المعالجة بالمرويات تزيل نسبة كبيرة منها وخاصة في حالة استخدام حبيبات الفحم المنشط في المرشحات أو إضافة بودرة الفحم في مرحلة الترويب.

## ٣- الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض : Pathogens

وهي تشمل البكتريا والفيروسات والبروتوزوا والطحالب والفطريات والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض مثل مرض الكوليرا أو التيفود أو شلل الأطفال أو الأمراض المعوية أو الالتهاب الكبدى الوبائي وأمراض أخرى مصدرها الرئيسي هو إفرازات ذوات الدم الحار الحاملة للمرض مثل الإنسان - الحيوان - الطيور. وتصل هذه الكائنات الدقيقة إلى مياه الشرب عند تلوثها بمياه الصرف الصحي أساسا. معظم الكائنات الحية الدقيقة يباد بالكلور وخاصة البكتريا وبعضها يقاوم التطهير بالكلور مثل الفيروسات وحويصلات الجارديا وهذه يمكن إن تزال بنسبة ٩٩% في المرشحات التي تعمل بكفاءة. وكذلك عند استخدام مؤكسد قوى مثل الأوزون يمكن القضاء على معظم الكائنات الحية الدقيقة ويحد من نشاط الباقي منها.



## ٤- المواد المذابة العضوية والغير عضوية :

فى مجارى المياه العذبة توجد المواد العضوية المخلفة منها المذاب ومنها الغير مذاب (Soc's - Syn thetic Organic chemicals). وتزال نسبة كبيرة منها عند معالجة المياه باستخدام كيماويات للترويب والترسيب. وهذه المواد من المبيدات والتي لا تتأكسد بالكور وهي كذلك بطيئة التحلل إلى المركبات الأولية ولكنها قد تتأكسد بمؤكسد قوى مثل الأوزون. والمبيدات توجد فى مياه المصارف أو فى المجارى العذبة المناوبة وفى فترة السدة الشتوية. أما المواد العضوية المذابة فى المياه الجوفية فهي تشمل المواد العضوية المتطايرة (VOC'S- Volatile Organic Chemicals) الناتجة عن تحلل النباتات أو تسرب للمركبات العضوية الأخرى مثل بعض مشتقات البترول. والتخلص من هذه المواد العضوية المتطايرة يتم فى أبراج التهوية كما يحدث عند التخلص من الغازات المذابة. أما المركبات الغير عضوية المذابة فهي تشمل أساسا أملاح للعسر فى المياه السطحية والتي تزال بكيماويات الترسيب للوصول إلى الحد المقرر من العسر فى مياه الشرب أو تزال عند استخدام المياه فى العمليات الصناعية كإنتاج البخار لتوليد الطاقة حيث يزال العسر.

المياه الجوفية قد تحتوى على أملاح الحديد والمنجنيز المذاب والذي يرسب عند تعرض المياه للهواء الجوى حيث تتأكسد هذه الأملاح وتعلق فى الشكل الغير مذاب بما يعطى المياه اللون الأحمر الطوبى. وهذه الأملاح تزال فى عمليات التهوية ثم استكمال الأكسدة باستخدام الكيماويات ثم الترسيب والترشيح. المواد الغير عضوية المذابة للزائدة عن المعايير المقررة لمياه الشرب مثل مياه البحار والبحيرات وبعض الخزانات الجوفية فهذه تزال بنظم التحلية المختلفة مثل التناضح العكسي RO أو الاليكترو دياييميس ED أو التبخير EVA.

المواد المذابة من المعادن الثقيلة السامة والمسببة للأمراض المزمنة فهذه قد توجد فى كل من مصادر المياه السطحية والجوفية وهي تزال فى عمليات الترويب بنسبة كبيرة جدا وذلك باستخدام الأنواع المختلفة من كيماويات للترويب من الشبة وأملاح الحديد.

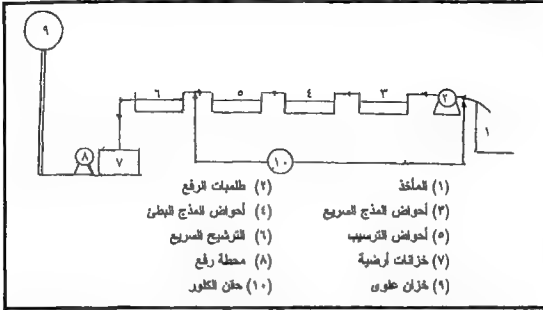


## القسم الأول

### تقنيات إزالة المواد العالقة من مصادر المجارى المائية العذبة

تشمل مراحل تنقية المياه لأغراض الشرب من المجارى العذبة السطحية الآتى:

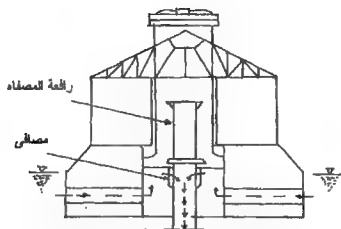
مأخذ المياه من المجرى المائى،. محطة طلمبات لسحب المياه من المأخذ إلى أحواض المعالجة والتي تشمل أحواض المزج السريع ثم أحواض المزج البطيء ثم أحواض الترسيب ثم المرشحات الرملية السريعة ثم خزانات أرضية للمياه المرشحة. محطة رفع المياه إلى الخزانات العلوية بالإضافة إلى أجهزة التغذية بالكيماويات مثل التغذية بالكلور للمياه بعد سحبها من المأخذ وقبل دخولها إلى المرشحات بعد أحواض الترسيب. وحقن الشبة فى أحواض المزج السريع بعد سحب المياه من المأخذ بواسطة محطة الطلمبات وكيماويات أخرى طبقا للحاجة شكل (٢) يوضح المخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العذبة.



شكل (٢) للمخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العذبة.

### ١- مأخذ المياه من المجاري العذبة: الأشكال (٣-١١)

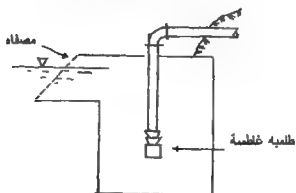
تنشأ المأخذ عموماً قريباً من محطات المعالجة والتي تكون في أماكن مرتفعة بعيداً عن مخاطر السيول والفيضانات ولها طرق اقتراب ومصادر للطاقة. وعند اختيار موقع المأخذ فإنه يجب أن يكون بعيداً عن مصادر التلوث من الصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي والصناعي. في جميع الحالات يجب أن يكون موقع المأخذ فوق التيار بمسافة مناسبة لماكن الصرف المعالج والغير معالج إن وجد. ومع تحديد موقع المأخذ يتم العمل على حمايته من مصادر التلوث المختلفة في المجرى المائي. ولتجهيز المأخذ فإنه يجب عمل الأعمال الإنشائية اللازمة لحماية قاع المجرى المائي وجوانبه بطريقة تضمن الحصول على معدلات المياه المطلوبة الحالية والمستقبلية. وتعتمد منشآت المأخذ على طبيعة المصدر المائي والتغير في المنسوب والتصرفات على مدار العام وكمية المياه المطلوب تنقيتها ومدى استخدامات المجرى في الملاحة للنهرية. كما يجب أن يراعى في تصميم المأخذ الزيادة المستقبلية في استهلاك المياه لمدة ٣٠-٤٠ سنة حيث يمكن زيادة طاقة الطلبات والأحواض الخاصة بالمعالجة عند توفر المساحات من الأراضي ولكن يصعب زيادة طاقة المأخذ بعد تنفيذه.



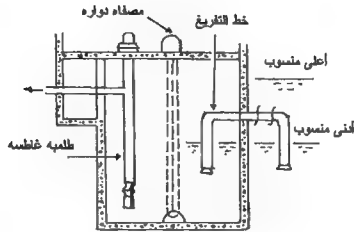
شكل (٣) مأخذ برجي (Twoer Intake)



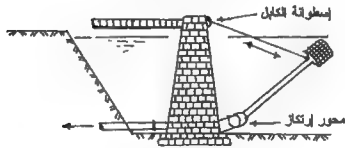
شكل (٤) مأخذ شاطئ



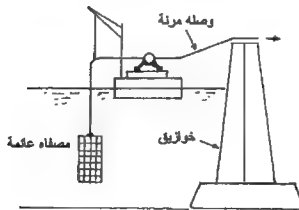
شكل (٥) مأخذ للظلمية السطحية



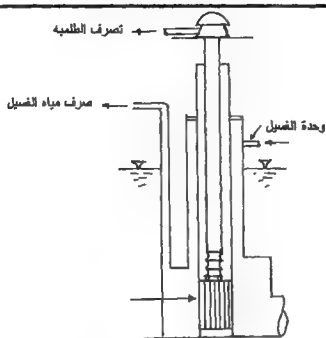
شكل (٦) مأخذ بالمسيقون



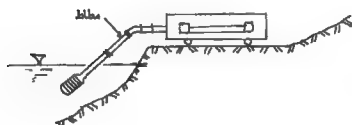
شكل (٧) مأخذ معلق ومتغير المنسوب



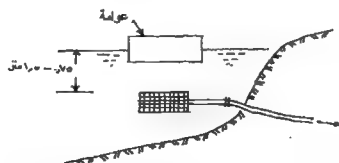
شكل (٨) مأخذ عالم



شكل (٩) مأخذ بمصفاه ثابتة مجهز بالضخ العكسي



شكل (١٠) مأخذ متحرك على عربة



شكل (١١) مأخذ عائم للمحطات الصغيرة

إن العناية بالدراسة الأولية لتحديد موقع المآخذ وتصميمه يوفر ثبات نوعية المياه بالكم المطلوب وخفض تكاليف المعالجة والحصول على مياه شرب مستساغة وآمنة باستمرار. وقد تصل تكلفة الدراسات والتصميم والتنفيذ للمآخذ فى بعض الحالات أكثر من نصف تكلفة المحطة ككل. يمكن تنفيذ المآخذ بما يتناسب مع ظروف المجرى المائي حيث المآخذ للبرجى والذي يمكن استخدامه فى المجرى المائية للملاحة والغير ملاحة والمآخذ الشاطئية المغمورة والمآخذ التي تعمل بالسيفون وكذلك المعقلة والعائمة المزودة بماسورتين لاستخدامها عند ارتفاع وخفض المياه الأشكال من ٣-١١ يوضح كروكي لمختلف أنواع المآخذ.

تجهز المآخذ بالمصافي لحجز الأجسام الطافية والعالقة والتي تعيق الضخ وعمليات التنقية والمصافي المستخدمة هي مصافي القضبان الحديدية (BAR SCREENS) حيث الفواصل بين القضبان من ٠,٥ إلى ٥ سم وفى حالة قلة المواد الطافية المتوقعة يمكن تقليل الفواصل. توضع المصفاة بزوايا ٦٠-٧٥° بالنسبة للمستوى الأفقي. ولتسهيل عملية التنظيف فى حالة التنظيف اليدوي توضع المصافي بزوايا ٣٠-٤٥° بالنسبة للمستوى الراسي. وتكون سرعة المياه المتجهة إلى المصفاة منخفضة تصل إلى ٠,١ إلى ٠,٢ م/ث (متر فى الثانية) لمنع رسوب الأجسام العالقة. كما يجب ألا يزيد معدل تدفق المياه فى الفتحات بين القضبان عن ٠,٧ متر فى الثانية للمصافي الثابتة وذلك لمنع انسداد المصافي. وتكون سرعة المياه فى ماسورة السحب إلى محطة الطلمبات من ١ إلى ١,٥ متر فى الثانية.

المصافي النظيفة تسمح بمرور المياه مع فقد فى الضغط لعدة سنتيمترات قليلة فقط ولكن الفقد فى الضغط يرتفع بشدة عند تراكم المواد العالقة فى فتحات المصفاة فى حدود من ٠,١ إلى ٠,٢ متر. ولمواجهة عدم انقطاع انتظام التنظيف اليدوي أو التوقف للتنظيف الآلي فانه من الناحية العملية تصمم المصافي بفقد فى الضغط يعادل من ٠,٥ إلى ١ متر وكذلك فانه بزيادة مساحة المصفاة يمكن التغلب على الفقد فى الضغط. وقد تستخدم مصافي إضافية ذات فتحات صغيرة (Fine



(Screens) قبل رفع المياه للمعالجة لإزالة الأجسام العالقة ولتقليل زمن الترسيب أو مساحة المرشح. تزال الأجسام العالقة المتركمة على المصافي بالطرق الميكانيكية (Rack screen) أو بالهواء المضغوط أو الماء سواء كانت المصافي ثابتة أو متحركة كما يمكن اللجوء إلى التنظيف اليدوي في المحطات الصغيرة. وفي بعض الحالات للمجارى السطحية العزبة المداوية حيث ينخفض منسوب المياه وتصبح ساكنة يتحول المجرى المائي إلى مصرف زراعي وتتلوث المياه وكذلك مع ركود المياه ترسب الأجسام العالقة العضوية والغير عضوية ومع نقض الأكسجين في قاع المجرى تتحلل المواد العضوية لا هوائيا منتجة غازات كبريتيد الهيدروجين والميثان بما يؤثر على رائحة ومذاق المياه العكرة. وإزالة هذه الغازات يتطلب استخدام حيبيات الفحم المنشط لامتصاصها في المرشحات والتي تمتاز كذلك المركبات العضوية أو بأكسدة هذه المواد والغازات بمؤكسد قوى مثل الأوزون. ولتجنب هذه الملوثات قبل تنقية المياه يمكن تصميم المآخذ بما يوفر التهوية للمياه قبل وصولها إلى ماسورة المآخذ وهذه التهوية تزيد من أكسجين المذاب في الماء والذي يعمل على أكسدة المواد العضوية وإزالة الغازات المذابة المسببة للمذاق والرائحة. وتستخدم لهذا الغرض المآخذ العائمة أو متغيرة المنسوب حيث ماسورة السحب على عمق ٠,٧٥ إلى ١,٢٥ متر من سطح الماء. وفي حالة خلط مياه المصارف في مجرى المياه العزبة فيجب تجنب إنشاء المآخذ والتبديل هو اللجوء إلى المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب حيث التكلفة أقل بكثير بجانب أن الملوثات العضوية تتحلل أثناء رحلتها إلى الخزان الجوفي وتخفي تماما على عمق ٥٠ - ٦٠ متر من سطح الأرض هذا بالإضافة إلى خلو المياه الجوفية من العكارة بما يوفر مراحل التنقية بالمرشحات ولكن يلزم حقن المياه بالكور قبل الضخ في الشبكة. وفي هذه الحالة يلزم للتأكد من خلو المصدر الجوفي من المعادن الثقيلة الضارة أو أن تكون تركيزاتها في حدود المعايير المقررة. وقد يصعب في بعض الأحيان اللجوء إلى هذا التبديل أي استخدام المياه الجوفية وخاصة في منطقة الدلتا شمال خط الزقازيق دمنهور وذلك لملوحتها والتبديل الآخر هو استغلال مجرى مائي آمن وإن كان على مسافة بعيدة.

## ٢- التخلص من المواد العالقة بالترسيب

أولى المراحل تنقية المياه العكرة هو التخلص من المواد الصلبة العالقة بعد خروجها من المصافي وبعد أن يتم التخلص من نسبة كبيرة من الأجسام العالقة والطافية طبقاً لحجم الفتحات في المصافي. وبعد خروج المياه من المأخذ إلى بيلارة المياه العكرة فإنها ترفع بواسطة محطة الرفع الوطني إلى أولى مراحل التنقية وهي التخلص من المواد العالقة بالترسيب.

### أ- نظرية الترسيب :

الترسيب هو التخلص بفعل الجاذبية من المواد العالقة والتي يزيد وزنها النوعي عن الوزن النوعي للماء. تزداد كفاءة الترسيب مع زيادة حجم الأجسام العالقة وزيادة كثافتها النوعية كما في حالات الترسيب العادي (Plain Sedimentation) بدون إضافة كيماويات مساعدة. والأجسام العالقة في المياه العكرة يتراوح حجمها ما بين فتحات المصافي الصغيرة في حالة استخدامها إلى أجسام عالقة ذات قطر صغير جداً يصل إلى ٠,٠٠٠١ ملمتر (٠,١ ميكرون) وهذه ترسب ببطيء شديد جداً وإن كان يمكن التخلص منها في المرشحات السريعة التي تعمل بكفاءة. وقد وجد من فحص عدة حالات أن الكثافة النوعية للمواد العالقة تتراوح ما بين ٢,٦٥ لحبيبات الرمل الناعم إلى حوالي ١,٢ لحبيبات الطمي المحتوى على ٩٥% ماء، كما وجد أيضاً أنه إذا أحسن تصميم مأخذ المياه فنادراً ما يزيد قطر حبيبات الرمل عن ٠,١ ملمتر وكثل الطمي عن واحد ملمتر. يمكن القول إن الترسيب العادي في عمليات تنقية المياه يخضع لقانون ستوك (STOCK'S Law) والذي ينص على الآتي:

$$S = \frac{1 \times g (P_s - P) D^2}{18M}$$

حيث

S : سرعة لترسيب مم /ث

g : عجلة الجاذبية الأرضية ٩٨١ مم/ث

M: اللزوجة بالمستقيم مربع في اللقطة

P: الوزن النوعي للمواد العالقة

Ps: الوزن النوعي للماء

D: قطر حبيبات المواد العالقة

وحيث أن المسائل هو الماء إذن كثافة المسائل = ١ وتصبح المعادلة

$$S = \frac{g(Ps-1)D^2}{18M}$$

من هذه للمعادلة ترى انه كلما زاد الوزن النوعي للجسم العالق زادت سرعة ترسيبه، كلما زادت لزوجة الماء انخفضت سرعة الترسيب، كلما زاد قطر الجسم العالق زادت سرعة ترسيبه وكذلك تزداد نسبة التخلص من الأجسام العالقة مع زيادة زمن الترسيب. ولإيضاح تأثير هذه العوامل يلزم التتويه عنها.

### ب- اللزوجة

لزوجة الماء تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة حيث:

درجة الحرارة للماء °: صفر - ١٠ - ٢٠ - ٣٠ - ٤٠ - ٥٠.

لللزوجة سم<sup>٢</sup>/ث : ١,٧٨ - ١,٣ - ١ - ٠,٨ - ٠,٦٥ - ٠,٥٩.

فإذا انخفضت درجة الحرارة من ١٠ إلى صفر ترتفع لزوجة الماء من ١,٣ إلى ١,٧٨ سم<sup>٢</sup>/ث وتقل سرعة الترسيب تبعاً لذلك. طبقاً لقانون ستوك فإن سعة الترسيب تزداد كلما ارتفعت درجة حرارة الماء كما إن تأثير ارتفاع درجة الحرارة على سرعة الترسيب أكبر من زيادة سرعة الترسيب نتيجة زيادة الكثافة النوعية للمواد العالقة.

### ج- القطر والوزن النوعي للأجسام العالقة

سرعة الترسيب لمختلف المواد العالقة في المياه الساكنة عند درجة حرارة ١٠°م هي كما في الجدول (٧) حيث يوضح قطر الحبيبات وكثافتها. ومن هذا الجدول إذا كان قطر الجسم ٠,٢ ، ٠,١ ملليمتر وعمق حوض الترسيب ٣ متر

الباب الثاني: تنقية مياه الشرب

وسرعة ترسيبه ١٠ ملليمتر في الثانية فإنه يحتاج إلى فترة زمنية مدتها ٥ دقائق لترسب  $(60 \times 10 / 3000) = ٥$  ق.

إما في حالة الطفرة للناعمة بقطر ٠,٠٠١ ملليمتر فهي تحتاج إلى ٢٢٥ يوم لترسب في قاع حوض بعمق ٣ متر:  $(3000 / 0,00104 \times 60 \times 60 \times 24) = 225$  يوم).

جدول (٧) سرعة الترسيب المختلفة لمواد العالقة في المياه الساكنة عند ١٠ م.

| المادة العالقة    | القطر بالملليمتر         | سرعة الترسيب بالملليمتر في الثانية            |
|-------------------|--------------------------|---|
| اسم = ١٠٠٠ ميكرون | للأجسام ذات الكثافة ٢,٦٥ | للأجسام ذات الكثافة ١,٢                       |
| ٠,٦ - ١           | ٦٣ - ١٠٠                 | ٧,٢ - ١٢                                      |
| ٠,٣ - ٠,٥         | ٣٢ - ٥٣                  | ٣,٦ - ٦                                       |
| ٠,١ - ٠,٢         | ٨ - ٢١                   | ١,٢ - ٢,٤                                     |
| ٠,٠٥ - ٠,٨        | ٢,٩ - ٦                  | ٠,٢١ - ٠,٥٤                                   |
| ٠,٠١ - ٠,٠٤       | ٠,١٥٤ - ٢,١              | ٠,٠٨٤ - ٠,١٣                                  |
| ٠,٠٠٥ - ٠,٠٠٨     | ٠,٠٣٥ - ٠,٠٩١            | ٠,٠٢١ - ٠,٠٥٤                                 |
| ٠,٠٠١٥ - ٠,٠٠٤    | ٠,٠٠٣٥ - ٠,٠٢١           | ٠,٠٠٠١٩ - ٠,٠٠١٣                              |
| ٠,٠٠٠١ - ٠,٠٠١    | ٠,٠٠٠١٥٤ - ٠,٠٠١٥٤       | ١٠ × ١٠ <sup>-٦</sup> - ١٠ × ٨٤ <sup>-٩</sup> |
| أقل ٠,٠٠٠١٠٠٠     | لا ترسب إطلاقاً          | لا ترسب إطلاقاً                               |

## القسم الثاني

### استخدام الكيماويات للتخلص من الأجسام العالقة

نظراً لأن زمن الترسيب اللازم لإزالة الأجسام العالقة المسببة للعيارة غير عملي بالإضافة إلى الأجسام الهلامية التي لا ترسب والتي تسبب تغير في لون ومذاق المياه. وهذه الأجسام لا تسبب عكارة فقط بل يعلق بها كثير من الكائنات الدقيقة ولذلك تم اللجوء إلى استخدام بعض الكيماويات الغير قابلة للذوبان في الماء وتكون رغبات هلامية (Floc's) والتي تلتصق بالمواد العالقة حيث يزداد الحجم (Agglomerates) وتجمع وترسب بالإضافة إلى أنها تمتاز على سطحها الخارجي بعض الأجسام الصغيرة العالقة وكذلك الهلامية بما يمكن من إزالة هذه الأجسام العالقة أسرع من الترسيب العادي. وهذه المواد هي مواد الترويب وهي غير ضارة وتعمل على تحسين اللون والرائحة والمذاق للمياه بدرجة كبيرة. واستخدام كيماويات الترويب يزيل الأجسام الهلامية التي تتراوح في حجمها بين المذابة والعالقة ( $10^{-1}$  إلى  $10^{-2}$  ملليمتر) والتي تحمل شحنة كهربائية سالبة وهي في حالة ثبات (Stabilized). ونظراً لشحنتها الكهربائية المتماثلة ولقرب كثافتها من كثافة الماء تظل عالقة.

كيماويات الترويب تحمل شحنة موجبة وعند إضافتها يحدث عدم ثبات للأجسام العالقة التي تحمل شحنة سالبة عندئذ تتجمع جسيمات أكبر في الحجم وبذلك تزداد

سرعة ترسيبها. المواد التي تزال بالمرويات هي المسببة للعكارة واللون. والعكارة هي نتيجة وجود العوالق الطينية والطحالب والمخلفات الحيوانية أما اللون فهو يسبب تحلل المواد العضوية والنباتات. المرويات تزيل كثيرا من الكائنات الحية الدقيقة ذات العلاقة بالصحة العامة والتي تختبئ في الأجسام العالقة وتزيل كذلك كثيرا من المواد العضوية المخلقة  $SO_2$  والتي توجد في مياه المجارى السطحية مثل المبيدات وتزيل كذلك أملاح الحديد والمنجنيز التي تعلق بها بعد أكسدتها بالهواء الجوى أو كيمياويات الأكسدة.

وتزيل كيمياويات الترويب المواد العضوية الدبالية (Humic Substances) وهي ناتجة من مواد التربة وتحلل النباتات ولها مكونات أروماتية وأليفاتية (Aromatic Aliphatic) وتشمل حامض الفوليك الشديد للذوبان في الماء وحامض الهيوميك (Humic) الأقل إذابة في الماء. والأكثر انتشارا في المياه السطحية هو حامض الفوليك. الأحماض الدبالية تعكس الضوء وهي المكون الرئيسي للمواد العضوية في الماء فهي توجد في كل المياه السطحية ومعظم المياه الجوفية. والمواد الدبالية تكون مركبات معقدة مع الأجسام العالقة والأملاح المعدنية والمركبات العضوية المخلقة ( $SO_2$ ) بما يساعد على إزالتها في عمليات الترويب. وقد ثبت إن هذه المواد الدبالية من مسببات تكون مركبات التريهالوميثان (THM'S) عند استخدام الكلور كمطهر ومؤكسد. ولذلك زاد الاهتمام نحو إزالة هذه المواد الدبالية بالترويب في تنقية المياه حتى وإن كان إزالة اللون والعكارة ليس هو الهدف من عملية الترويب.

### خصائص استخدام كيمياويات الترويب المختلفة

عملية الترويب تتم على ثلاث مراحل متتالية وهي تجهيز المروب ثم المزج السريع للمروب مع المياه حيث يحدث عدم ثبات للمواد العالقة ثم الخطأ البطيء في أحواض الترغيب (Floccu Later) حيث تتم عملية تكوين الزغبات (Floc's) نتيجة التصاق المواد العالقة الغير ثابتة مع المروب. ولكبر حجم الزغبات المتكونة نتيجة هذا الالتصاق وزيادة كثافتها يمكن التخلص منها بالترسيب والترشيح.

المروبات المستخدمة عادة هي كبريتات الألومنيوم (الشبه) وكبريتات الحديدك وكبريتات الحديدوز، كلوريد الحديدك، ألومنيات الصوديوم. وتستخدم أحيانا الشبه السوداء والتي هي خليط من الشبه وبودرة الفحم المنشط بنسبة ٥% من الفحم المنشط. وفي بعض الحالات تستخدم للبمرات عالية الكثافة في عملية السنتروب. والمروبات تزيل كذلك بالتروسيب الكيماوي بعض أملاح المعادن الثقيلة ذات الأثر السلبى على صحة الإنسان. فالشبه فى المجال المتعادل ترسب الزرنيخ خماسي التكافؤ والكروم ثلاثي التكافؤ والرصاص والسيلينيوم وأملاح الفضة بنسبة إزالة ٧٠-٩٠% وأن كانت نسبة الترسيب تزداد مع زيادة الرقم الهيدروجيني نحو القلوية. ولكن الشبه لا تزيل الزرنيخ ثلاثي التكافؤ والباريوم والكلاديوم والكروم سداسي التكافؤ والسيلانييد والسيلينيوم للرباعي والنحاس وبعض المركبات العضوية. ولكن هذه المواد تزال باستخدام المروبات من أملاح الحديد فى مجال رقم هيدروجيني مرتفع أعلا من ٩. للرقم الهيدروجيني لمياه النيل هو من ٧,٥ - ٨ فقط، والمروبات حامضية بطبيعتها حيث تتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء مكونة كبريتات القلوى وراسب جيلاتيني الذي هو الايدروكسيد للمروب وهذا الايدروكسيد يحمل شحنة موجبة كما فى المثال التالي:



بينما الأجسام الهلامية العالقة تحمل شحنة سالبة وعند الخلط يحدث الجذب والالتصاق مع الايدروكسيد لتتكون اللزغات (Floc's) الأكبر حجما وكثافة كما تعمل الطبيعة الجيلاتينية لايدروكسيد المروب على اصطياد الأجسام العالقة وامتزاجها على السطح بما يزيد من حجم اللزغات حيث يمكن أن ترسب بسهولة. كما يلزم للأداء الجيد للمروب وجود قلوية فى الماء. للقلوية فى مياه النيل هي حوالي ١٣٠ جزء فى المليون مقيمة ككربونات كالسيوم وهى تشمل قلوية الكربونات والبيكربونات لأملاح الصوديوم أساساً. وفى بعض أنواع المياه قد لا تتوفر القلوية اللازمة لعمل المروب بكفاءة عندئذ يتم إضافة قلوى مثل الصودا آش (كربونات الصوديوم) أو الجير الحى أو لبن الجير  $\text{Ca(OH)}_2$ .

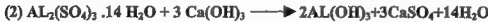
## أنواع كيمائيات الترويب

### ١- كبريتات الألومنيوم ( الشبة): $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

وهي تصنع بخلط خام البوكسيت (Bauxite) المحتوي على أكسيد الألومنيوم مع حامض الكبريتيك لدرجة الغليان. واستعمل البوكسيت من خام الواحات الخارجة لفترة طويلة كما يوجد في مناطق أخرى مثل جنوب سيناء. الشبة المستخدمة في تنقية مياه الشرب يجب ألا تزيد نسبة أكسيد الحديد فيها عن ٠,٩% والزرنيخ عن ٥٠ جزء في المليون.

ولإعداد الشبة للاستخدام فإنه يتم تجهيز محلول الشبة بتركيز ٤-٥% ويضاف إلى المياه العكرة بنسبة ٥-٨٥ جزء في المليون حسب درجة العكارة مع عدم زيادة الجرعة عن هذا الحد حيث ما يزيد عن هذا المقدار وجد مذاباً في الماء. وقد ثبت أن المواد العالقة من الطمي تمتص نحو ٢٠-٣٠% من جرعة الشبة بما لا يمكن من تفاعلها مع البيكربونات الموجودة في الماء مما يتطلب في بعض الحالات عمل الترسيب الأولي (Plain Sedimentation) للتخلص من أقصى نسبة من الأجسام العالقة. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني عن ٦,٨ بما يضر بصحة الإنسان لا تزداد جرعة الشبة ولكن إما أن يزداد الزمن اللازم للترسيب أو إضافة الصودا لـ لتعويض استهلاك القلوية الموجودة أصلاً في الماء.

وتفاعل الشبة مع القلوية الطبيعية أو المضافة للماء يتم كالآتي:



أيدر وكسيد الألومنيوم الناتج عن هذه التفاعلات للشبة مع القلوية الموجودة في الماء أو المضافة يكون الزغبات (FLOC'S) التي لا تنوب في الماء والتي تزيل



الأجسام العالقة الصغيرة جدا والهلالية (Colloidal). ولأفضل النتائج فإن الرقم الهيدروجيني للماء يكون ما بين ٦,٥-٨ وجرعة للشبه تكون من ٥ إلى ٨,٥ جزء في المليون طبقا للعكارة ولون المياه. تحدد الجرعة عموما طبقا لاختبارات القنينة (Jar Tests).

وتتوقف ضوابط استخدام الشبه كمروب على أساس أنه عند إضافتها إلى الماء فإن نواتج التحلل تكون أيون الهيدروجين الذي يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني للماء كما في المعادلة.



الخفض في الرقم الهيدروجيني يتوقف على قلوية الماء فلكل ١ ملجرام / لتر من الشبه التي تتفاعل لتنتج راسب من أيذر وكسيد الألومنيوم يستهلك ٠,٥ ملجرام / لتر من القلوية المقيمة ككربونات كالسيوم فعند إضافة جرعة من الشبه ٢٠ ملجرام / لتر فإن القلوية اللازمة للتفاعل هي ١٠ ملجرام / لتر بما يتطلب إضافة قلوي آخر إلى الماء لتوفير القلوية والمحافظة على الرقم الهيدروجيني للماء لترسيب أيذر وكسيد الألومنيوم وتحقيق أقصى ترويب. الزغبات التي تتكون باستخدام مروب الشبه تختفي في حالة نقص الرقم الهيدروجيني وكذلك في حالة زيادته يتأين أيذر وكسيد الألومنيوم إلى الألومنيات التي تنوب في الماء. ولهذا فإن أفضل النتائج لتكوين الزغبات تكون في مجال هيدروجين بين ٦,٥-٨ وعادة فإن الجرعة للشبه هي من ٥-٨٥ ملجرام / لتر والجرعة المتوسطة هي ١٩ ملجرام / لتر والمياه شديدة العكارة لا تزداد الجرعة عن ٨٥ ملجرام / لتر حيث ما زاد عن ذلك ينوب في الماء وكذلك لا تقل.

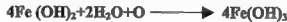
## ٢- كبريتات الحديدوز (Ferrous Sulphat)

كبريتات الحديدوز يكون فيها الحديد ثنائي التكافؤ والرمز الكيميائي هو  $(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$  وهي تكون على هيئة بلورات خضراء لامعة جافة وقد تكون أحيانا على شكل كتل كبيرة ولها أسماء تجارية مثل الزاج الأخضر (Copperas) أو

(Sugar Sulphate of Iron) وعند استخدامها كمروب لمياه الشرب لا تزداد فيها نسبة الشوائب عن ٢% وحامض الكبريتيك عن ٠,٤% والزرنيخ عن ٥٠ جزء في المليون. وتكون نسبة الحديد القابل للذوبان في الماء ١٩,٧%. أساس عمل كبريتات الحديدوز كمروب هو تكون أيدر وكسيد الحديد نتيجة لوجود الكربونات أو القلوية الموجودة في الماء مع أكسجين الهواء الجوى فتتحول كبريتات الحديدوز إلى أيدر وكسيد الحديد الذي له خواص في الترويب لا تقل عن أيدر وكسيد الألومنيوم. وتفاعلات كبريتات الحديدوز مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء كالآتي:



أيدر وكسيد الحديدوز يذوب في الماء وعند أكسدته بالأكسجين المذاب في الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فإنه يتأكسد إلى أيدر وكسيد الحديد  $\text{Fe(OH)}_3$  وهو راسب جيلاتيني لا يذوب في الماء ويرسب تدريجيا حاملا الأجسام العالقة في شكل راسب. يضاف الجير كمستحلب من لبن الجير  $\text{Ca(OH)}_2$  بعد إضافة كبريتات الحديدوز أو معها لرفع الرقم الهيدروجيني ولزيادة سرعة الترسيب. كمية المروب من كبريتات الحديدوز تكون ما بين ٥-٥٠ ملجرام / لتر مع إضافة نسبة من الجير حوالي ٠,٤ من كبريتات الحديدوز وتزيد نسبة الجير مع زيادة العكارة في الماء حتى تصل إلى نفس نسبة كبريتات الحديدوز في الماء.



أملاح الحديد حامضية وتستهلك كل القلوية الطبيعية الموجودة في الماء أثناء الترسيب كأيدر وكسيد مما يتطلب إضافة مستحلب لبن الجير لرفع الرقم الهيدروجيني. وكبريتات الحديدوز تعطى أفضل نتائج للترويب عند رقم الهيدروجيني ٨,٥ ولا تستخدم للمياه الملونة. وأملاح الحديد أكثر عدوانية من الشبة وتحتاج إلى مهارة عالية في استخدامها وهي تنشط البكتريا المؤكسدة لمعدن الحديد.

ولتحقيق أكسدة الحديدوز إلى الحديد في المجال المتعادل تتم الأكسدة بواسطة الأكسجين المذاب في الماء بالإضافة إلى جرعة عالية من الكلور ٢٧ ملليجرام / لتر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز كمروبو يمكن الاستغناء عن الترشيح والتعقيم وعمل الترسيب فقط وذلك عند زيادة كمية الجير المضاف بعد كبريتات الحديدوز حتى رقم هيدروجين ١٠,٥ عندئذ يمكن الحصول على مياه شفافة لا تحتاج إلى الترشيح بالإضافة إلى قتل البكتيريا الضارة التي لا تعيش عند رقم هيدروجيني ١٠,٥. وتزال القلوية الزائدة بتمرير ثاني أكسيد الكربون في الماء فيحولها إلى بيكربونات غير ضارة. كبريتات الحديدوز أقل في تكلفة استخدامها من الشببه بالإضافة إلى أن الزغابات الناتجة عنها كمروبو سريع الترسيب لزيادة الكثافة النوعية. ولكن استخدامها يتطلب إضافة الجير والذي يسبب تراكم وترسيبات في الشبكة نتيجة تفاعله مع قلوية الماء كما إن كبريتات الحديدوز لا تصلح كمروبو مع المياه الملونه أو المياه البيسر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز مع الكلور بجرعة ٢٧ ملليجرام / لتر مع زمن تلامس صغير لأكسدة الحديدوز إلى الحديد فأن الناتج يكون ٤٠% كبريتات حديدك، ٦٠% كلوريد حديدك.

### ٣- أملاح الحديد الأخرى

من مركبات الحديد المستخدمة كمواد ترويب كلوريد الحديدك وكبريتات الحديدك. كلوريد الحديدك شديد العدوانية في الحالة الصلبة أو المحلول وعادة لا يستخدم في معالجة مياه الشرب. كبريتات الحديدك شديدة الحموضة وشديدة العدوانية مما يستلزم أن تكون مهمات النقل والتخزين مقاومة للتآكل. والمروبات من أملاح الحديدك هي عوامل أكسدة فتريل كبريتيد الهيدروجين وتحسن نوعية المياه وتستخدم في تنقية مياه الصرف الصناعي ومعالجتها، كما تعمل على ترسيب كثيرا من المعادن الثقيلة. ويتطلب استخدام مركبات الحديدك كمروبات إضافة أيروكسيد الكالسيوم لرفع القلوية للماء وترسيب أيروكسيد الحديدك. والجرعة المناسبة من كلوريد الحديدك أو كبريتات الحديدك هي من ٨,٥ إلى ٥١ ملليجرام / لتر ومجال الرقم الهيدروجيني المناسب هو من ٥,٥ إلى ١١.

تفاعلات مركبات الحديد مع الجير المطفئ (لبن الجير) هي كالآتي:



أيدر وكسيد الحديدوز يذوب في الماء وعند أكسنته بالأكسجين المذاب في الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فإنه يتأكسد إلى أيدر وكسيد الحديدك Fe (OH)<sub>3</sub> وهو راسب جيلاتيني لا يذوب في الماء و يرسب تدرجياً.

#### ٤- ألومنيات الصوديوم : Sodium Aluminate (Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

وهذا المروب استخداماته محدودة وهو قلوي في تفاعلاته حيث يعمل على رفع الرقم الهيدروجيني. وهو مناسب للاستخدام في المياه قليلة القلوية الطبيعية وكذلك في المياه اليسر. وهذا المركب يتفاعل بسرعة مكوناً رغبات من ألومنيات الكالسيوم Ca Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> كما في المعادلات الآتية :



ألومنيات الصوديوم تثبط عذونية المياه ونظراً لارتفاع تكلفتها فلا تستخدم عملياً.

#### ٥- الجير المطفئ أو الجير الحي (Ca O - Ca(OH)<sub>2</sub>)

يستخدم الجير المطفئ أو لبن الجير Ca (OH)<sub>2</sub> أو الجير الحي Ca O في تنقية مياه الشرب ومياه الصناعة منفرداً أو مع غيره من المروبات كالشبة ومركبات الحديد ويستعمل كذلك في معالجة المياه لإزالة العسر ويستعمل أما على هيئة الجير الحي (Ca O) أو الجير المطفئ Ca(OH)<sub>2</sub>. الجير الحي هي ناتج حرق كربونات الكالسيوم مكوناً أكسيد الكالسيوم.

## حرارة



وبإضافة الماء إلى الجير الحي (CaO) يتكون الجير المطفأ. يمكن تحضير محلول الجير بتركيز ٤-٥% والذي هو لبن الجير. يجب أن يكون الجير الحي تلم الاحتراق وخال من الشوائب (مثل الفحم، الرماد) وأن يكون قابلاً للتفكك جميعه عند خلطه في الماء وأن يكون أبيض جاف مسحوقاً سحفاً جيداً ومتجانساً الحبيبات خال من المواد الغريبة التي تعيق استخدامه بواسطة أجهزة الإضافة للجير الحي أو لمحلول لبن الجير.

## ٦- البلمرات المستخدمة في الترويب

البلمرات إما أن تكون من المواد عضوية أو من مواد غير عضوية:

## ١- البلمرات من المواد الغير عضوية

وهذه تشمل البلمرات الغير عضوية من أملاح الحديد والالومنيوم والسيليكون. فعند معايرة محلول مركز من أملاح الحديد مع قلوي لدرجة ما قبل التعادل (Partilly Neutralized) تتكون بلمرات من أملاح إيدروكسيد الحديد (Colloidal Amorphous Ferric Hydroxide Base Partial). وكذلك عند عمل المعايرة الغير مكتملة للتعادل لمحلول مركز من أملاح الألومنيوم كما في حالة للتعادل الجزئي (Neutralized Partial) لكلوريد الألومنيوم حيث يتكون مركب بولي ألومنيوم كلوريد (PAC-Poly aluminuim Chloride) والذي يستخدم في معالجة المياه العكرة واليسر. وكذلك هناك بلمرات أخرى من أملاح السيليكون. وتستخدم بعض أنواع للطفلة مثل الينثونيت كمرويات حيث تضاف في الشكل الجاف مباشرة إلى الماء عندئذ تنفتح حبيباتها إلى جسيمات كبيرة تحتضن الجسيمات العالقة المسببة للعكارة مكونة أجسام أكبر حجماً يسهل ترسيبها.

## ب - البلمرات العضوية : Organic polymers

البلمرات العضوية متوفرة في أوزان جزيئية مختلفة (كثافات مختلفة). البلمرات التي بها مجموعة متأينة مثل (Sulfonic Group / Amino Group) تسمى البولي الكتروليت الذي يمكن أن يكون كاتأيوني (Cationic) أو أن أيوني (Anionic) أو الغير أيوني (Nonionic) ومن أمثلة لهذه البلمرات العضوية الموضحة في الجدول (٨).

وتستخدم البلمرات الغير أيونية في المجال الحامضي، البلمرات الآن أيونية في المجال القلوي والمتعادل والبلمرات الكاتأيونية تؤثر جيدا على المواد العضوية والهلالية. البلمرات من المركبات العضوية الأكثر شيوعا في الاستخدام في تنقية مياه الشرب كمساعدات ترويب (Coagulant aids) هي البلمرات الكاتايونية موجبة الشحنة وهي بلمرات متأينة (Positively Charged Cationic Polyelectrolytes). وهذه البلمرات الموجبة تعمل على عدم ثبات المواد العالقة ومعالجة شحنتها السالبة وهي كذلك تمتاز المواد الهلالية العالقة. البلمرات المستخدمة في مياه الشرب لها وزن جزيئي أقل من مليون وهي تتأثر بالرقم الهيدروجيني والعصر. البلمرات القابلة للذوبان في الماء تتأين لتعطي الرقم الهيدروجيني المناسب للترويب بما يقلل من جرعة المروبيات ويحسن نوعية المياه خلال تنقيتها في المرشحات وتضاف البلمرات (البولي الكتروليت) مع جرعة المروب وتحدد جرعة المروببات طبقا لاختبارات القينة (Jar Tests) وتوصيات المنتج.

## ج- برمنجنات البوتاسيوم :

هذه المادة مروب ضعيف ولكنه مطهر قوى عند إضافته إلى الماء يتحلل إلى ثاني أكسيد المنجنيز والأكسجين النشط ويعمل ثاني أكسيد المنجنيز كمروب والأكسجين كمطهر وإزالة اللون والرائحة وعند الاستخدام تكون الجرعة ١-٤ مليجرام / لتر.

## ٧- تعيين الجرعة المضافة من كيماويات الترويب

تحدد الجرعة المضافة من المروب طبقا لنوع مادة الترويب المستخدمة وكمية العكارة في المياه ولون المياه والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة وكذلك

زمن الخلط السريع والخلط البطيء لتكوين الزغبات (Floc's). عند زيادة العكارة في الماء مع انخفاض درجة الحرارة يلزم زيادة الجرعة من المرويات كما يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني للحصول على زغبات أفضل. وذلك لأن مرويات الشبة (أيدر وكسيد الألومنيوم) يختفي في حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني وعند زيادته عن ٨,٥ فإنه يتأين إلى الألومنيات القابلة للذوبان في الماء.

### جدول (٨) أنواع البلمرات العضوية

| Some Synthetic Playmers  |  |   |
|--|--|---|
| Nonionic   | Anionic  | Cationic  |
| $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right]_n$ <p>Polyacrylamide<br/>M.W. = <math>10^6</math></p> | $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{COO}^- \text{Na}^+ \end{array} \right]_n$ <p>Sodium polyacrylate<br/>M.W. = <math>10^6</math></p>           | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2- \right]_n$ <p>Polyethylene imine<br/>M.W. = 600 to 100,000</p>   |
| $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{OH} \end{array} \right]_n$ <p>Polyvinyl alcohol</p>                               | $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{SO}_3^- \text{Na}^+ \end{array} \right]_n$ <p>Sodium polystyrene sulfonate</p> | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ -\text{CH} \quad \quad \text{CH}-\text{CH}_2- \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_2 \quad \quad \text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{N}^+ \text{Q}^- \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ <p>Polydiallyldimethylammonium chloride<br/>(Cat-Floc)<br/>M.W. = 10,000 to 100,000</p> |
| $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}]_n$ <p>Polyethylene oxide</p>  |  | $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{C}_5\text{H}_5\text{N}^+ \text{HBr}^- \end{array} \right]_n$ <p>Polyvinylpyridinium bromide</p>  |

ولتعيين افضل مروب للاستخدام لنوع معين من المياه العكرة والجرعة اللازمة وافضل رقم هيدروجيني فانه يتم عمل اختبارات معملية باستخدام أنواع مختلفة من كيماويات الترويب مع اختلاف الجرعات والرقم الهيدروجيني. حيث يمكن في بعض الحالات استخدام خليط من المروبات ومساعدات الترويب للحصول على أعلى كفاءة لترسيب والتخلص من المواد العالقة وإزالة المعادن الثقيلة المذابة والضارة بصحة الإنسان وتكون التنقية طبقاً لمعايير مياه الشرب وذلك كما هو موضح في الجدول (٩).

والجرعات المناسبة عدد الحاجة الى إضافة قلوي هي ٤٠-٥٠ ملجرام / لتر من الجير الحي أو ٦٠-٧٠ ملجرام / لتر من الجير المطفى وتضاف الصودا آس عند استخدام مروب الشبة فقط وليس مروب الحديدوز بجرعة ١٠٠ ملجرام / لتر. وتستخدم البلمرات الكاتيونية كما سبق توضيحه لتأيئها وذوبانها في الماء وتوفير الرقم الهيدروجيني المناسب بما يقلل من جرعة المروبات وتحسين نوعية المياه وتنقيتها خلال المرشحات. الجرعة العادية للبلمرات (البولي إلكتروليت) هي واحد جزء في المليون. المياه قليلة العكارة لا تعطى كفاءة مناسبة عند استخدام المروبات فقط وذلك إذا انخفضت العكارة عن ١٠٠ جزء في المليون ويحدث هذا عامة في المجارى السطحية العذبة للمناوبة أو في حالة المدة الشتوية. ولزيادة العكارة وزيادة كفاءة عمل المروبات تضاف جرعة من الطفلة ٣٥ ملجرام / لتر. الطفلة المناسبة هي الطفلة البنونيت كما استخدمت بدرجة الفحم المنشط الذي يحسن من المذاق والرائحة. وقد ثبت في كثير من الحالات الاستفادة بإضافة الرمل الناعم مع تحسين خصائصه بإضافة البولي إلكتروليت حيث يتم إضافتها قبل إضافة مادة الترويب كما قد تستخدم نسبة من الروبة (Sludge) المرسبة وتدويرها. تحدد الجرعة المناسبة من الروبات ومساعدة الترويب باستخدام جهاز اختبار القنينة وهذا الجهاز يتكون من ٤-٥ قنينة كل بسعة ١-٢ لتر شكل (١٣).



## جدول (٩) للمعالجة المؤثرة لإزالة الملوثات الغير عضوية

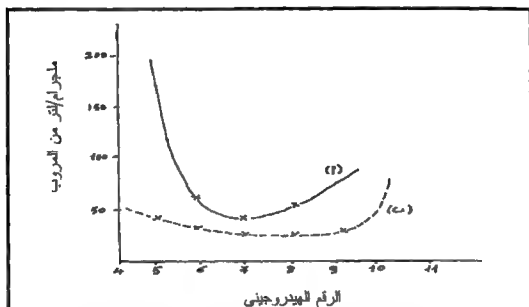
| الملوثات من المعادن الذائبة   | لترسيب بالمرويات لإزالتها   |
|---|---|
| الزرنيخ الثلاثي $As^{+3}$ .<br>بعد أكسدته إلى خماسي<br>قبل المعالجة | مرويات كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٦-٨ مروب<br>للشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٧ .<br>عند إزالة العسر باستخدام الجير ومروب كبريتات الحديدك عند<br>رقم هيدروجيني ٨ |
| الزرنيخ الخماسي $As^{+5}$   | نفس المرويات المستخدمة لترسيب للزرنيخ الثلاثي بعد أكسدته  |
| الباريوم Ba   | إزالة العسر باستخدام الجير عند رقم هيدروجيني ١٠-١١<br>للتبادل الايوني   |
| الكاديوم Cd   | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني أكبر من ٨ إزالة<br>للعسر باستخدام الجير .  |
| الكروم الثلاثي $Cr^{+3}$  | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني بين ٦-٩ أو<br>مروب للشبة عند رقم هيدروجيني بين ٧-٩ أو إزالة العسر<br>باستخدام الجير .                                      |
| الكروم السداسي $Cr^{+6}$  | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني بين ٧-٩,٥  |
| الرصاص  | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٦-٩ أو مروب<br>للشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٩ أو إزالة العسر باستخدام الجير   |
| لزنثيق الغير عضوي<br>لزنثيق العضوي                                  | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٧-٨<br>حبيبات للفحم المنشط   |
| السيلينيوم الرباعي $Se^{+4}$  | مروب كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٧-٩  |
| النضفة  | باستخدام كبريتات الحديدك عند رقم هيدروجيني ٧-٩ أو الشبة<br>عند رقم هيدروجيني ٦-٨ أو عند إزالة العسر باستخدام الجير .  |

يوضع في كل قنينة ذراع خلاط يدور بسرعات متغيرة بواسطة عامود إدارة  
واحد ومجموعة تروس. يوضع في كل قنينة عينات متساوية حقيقية من المياه  
العكرة.

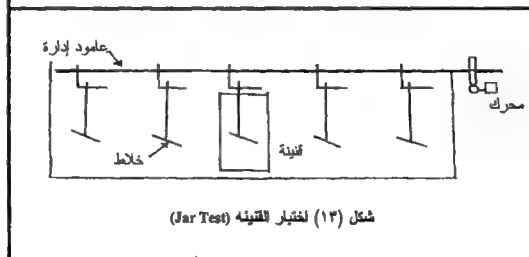
يحقن المروب في كل قنينة بجرعات مختلفة مثال (١٠-٢٠-٣٠-٤٠-٥٠ مليجرام / لتر) يتم تشغيل الخلاطات التي تعمل بعامود تشغيل واحد بسرعة عالية ١٠٠-١٠٠٠ لفة في الدقيقة لمدة ٠,٥ إلى ١ دقيقة ثم تخفض السرعة لتكون ٢٠-٣٠ لفة في الدقيقة لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة ثم تترك العينات لمدة ٣٠-٦٠ دقيقة لترسب المواد العالقة. يتم اختبار العينات بالنسبة للعكارة واللون وتسجل أقل جرعة من المروبات والتي تعطى نتائج جيدة لنقاء المياه وشفافيتها (من ٠,٥ الى ١ بمقياس نيفيلوميترى) والاختبار الآخر هو تحضير العينات مع ضبط الرقم الهيدروجيني في كل قنينة لتغطية المجال ٩,٨,٧,٦,٥ مع إضافة جرعة مروبات التي تم تحديدها مسبقاً الى كل قنينة ثم يجرى الاختبار كما في الخطوات السابقة. وتختبر العينات ويحدد أفضل رقم هيدروجيني، ويمكن استخدام نفس الجهاز لأختبار كفاءة الأنواع المختلفة من المروبات أو خليط منها في إزالة العكارة واللون كما يمكن اختبار إزالة المعادن الثقيلة عند جرعات مختلفة من الروبات ومجال هيدروجيني مختلف كما هو موضح في الجدول (٩) ولكن توجد بعض المعادن الثقيلة الضارة بصحة الإنسان والتي لإزالها بأي نوع من المروبات وهى السيلينيوم السداسي التكافؤ ( $Se^{+6}$ ) والذي يزال بالتبادل الأيوني أو التناضح العكسي وكذلك كلا من الفلورايد والنترات الذي يزال بالتبادل الأيوني. ولتعظيم دور الجرعة كمروب يتم أثناء الخلط السريع حقن للمروب بسرعات تحتوي على للمروب في وقت واحد حيث تحقق كل قنينة بها ماء بجرعة مختلفة. بعد الترسيب يتم قياس عكارة الماء بأخذ عينات من الماء بواسطة سحاحة من أسفل سطح الماء في الإناء مباشرة. كما يمكن كذلك اخذ عينات في توقيينات مختلفة لتعيين منحنى سرعة الترسيب مقابل العكارة. وأقل عكارة مثبقة تقابلها أقصى جرعة للمروب. كما إن سرعة دوران الخلاط في الدقيقة تمكن من معايرة متوسط للتدرج في السرعة وبذلك يمكن استخدام التجربة في تعيين طاقة الخلط المختلفة للخلط السريع والخلط البطيء، ولتوضيح كفاءة المروب من الشبة أو أملاح الحديد في إزالة العكارة طبقاً للمجال الهيدروجيني كما هو موضح في المنحنيات شكل (١٢).

فعند إضافة عكارة للماء من مادة النيتريت وإضافة مروب من الشبة ومروب آخر من أملاح الحديد بجرعة ٥٠ مليجرام / لتر لكل مروب على حدة.

فان المنحنى (أ) فى الشكل (٢) يبين مجال الرقم الهيدروجينى لإزالة ٥٠ % من العكارة فى الماء عند استخدام مروب الشبة والمنحنى (ب) يبين نفس النسبة من الإزالة للعكارة عند استخدام مروب من أملاح الحديد وتبين النقط على المنحنى الجرعات اللازمة عند الرقم الهيدروجينى.



شكل (١٢) كفاءة الشبه (أ) وأملاح الحديد (ب) فى الترويب لـ ٥٠ ملجم/لتر عكارة كاولين



شكل (١٣) اختبار القنينة (Jar Test)

## ٨- أمثلة لتعيين الجرعة من المروبات ومساعدة الترويب :

(١- مثال)

محطة تنقية مياه الشرب  $10 \times 35 \times 10^6$  لتر/اليوم. جرعة الشبة المستهلكة ٢٠ مليجرام/لتر. إذا كانت قلوية المياه تعادل ٤,٥ مليجرام / لتر من كربونات الكالسيوم. عين كمية الشبة والجير الحي للمحتوى على ٨٠% أكسيد كالسيوم (CaO) المطلوب كل شهر لمحطة للتنقية.

الحل : فى حالة استخدام الجير الحي.

كمية الشبة المطلوبة :  $10 \times 35 \times 20 = 7000$  كيلو جرام فى اليوم

$0,7 =$  طن فى اليوم  $= 21$  طن فى الشهر.

بفرض محلول الشبة بتركيز ٥% أن حجم المحلول اليومى  $= 0,7 \times 100 = 70$  متر مكعب . بفرض استخدام ثلاثة أحواض لخلط محلول الشبة إذن كل حوض يسع ٤,٧ متر مكعب.

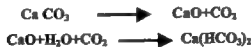
أبعاد الحوض بسعة ٥ متر مكعب (أسطوانى) هي قطره ١,٥ متر ارتفاع ١,٥ لتعيين مساعدات للترويب يتم الاستعانة بالتفاعلات التالية التي تحدث أثناء المعالجة.



وحيث إن الوزن الجزيئى للشبة هو:

$$594 = (16 + 2) 14 + (16 \times 4 + 32) 3 + 27 \times 2$$

للوزن الجزيئى المكافئ من الجير الحي:



نظرا لأن للوزن الجزيئي للكاربونات ( $\text{Ca CO}_3$ ) =  $100 = 16 \times 3 + 12 + 40$ .

والوزن الجزيئي للجير الحي ( $\text{Ca O}$ ) =  $56 = 16 + 40$ .

من المعادلات السابقة والاوزان المكافئة فان للقلوية اللازمة لوزن جزئي من الشبة هي ٣ وزن جزئي من بيكربونات الكالسيوم وهذه تعادل ٣ وزن جزئي من كربونات الكالسيوم وهذه تعادل ٣ وزن جزئي من أكسيد الكالسيوم (الجير الحي).

.. للقلوية اللازمة لـ ٥٩٤ جزئ من الشبة يقابلها  $3(16+40) = 168$  جزئ من الجير الحي.

.. كمية الجير الحي المكافئة لـ ٢٠ ملجرام / لتر من الشبة =  $594/168 \times 20 = 5,66$  ملجرام / لتر

.. قلوية الماء ككربونات كالسيوم هي ٤,٥ ملجرام / لتر =  $100/56 \times 2,02 = 2,02$  ملجرام / لتر من أكسيد الكالسيوم .

.. كمية الكالسيوم المطلوب إضافتها هي  $5,66 - 2,02 = 3,14$  ملجرام / لتر ونظرا لأن الجير الحي به ٨٠ % أكسيد كالسيوم .

..  $\frac{100 \times 3.14}{80} = 3,90$  ملجرام / لتر .

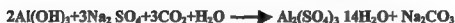
.. كمية الجير المطفى اللازم لمعالجة  $10 \times 35$  لتر في اليوم .

=  $10 \times 35 \times 3,90$  ملجرام / اليوم =  $113,825$  كيلو جرام / اليوم .

=  $113,825 / 31 \times 100 = 3,682$  طن في الشهر .

وفي حالة استخدام الصودا آش ( $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ ):

وذلك حسب المعادلة الآتية:



الباب الثاني: تنقية مياه للشرب

. . الوزن المكافئ من الصودا آس الذي يقابله ٥٩٦ جزئ من الشبة =  $2 \times 23 + 12 + 3 \times 16 = 106$  جزئ من الصودا آس .

. . ٢٠ مللجرام / لتر من الشبة تكافئ  $20 \times 106 / 596 = 3,5$  مللجرام / لتر من الصودا آس .

٣,٥ مللجرام / لتر صودا آس تكافئ  $100 \times 3,5 / 106 = 3,3$  كربونات كالسيوم .

. . كمية الصودا آس اللازم إضافتها =  $4,5 - 3,3$  (١٠٦/١٠٠)

=  $1,2 \times 106 = 1,272$  مللجرام / لتر .

=  $1,272 \times 10 \times 31 / 1000 = 3,943$

= ١,٣٨ طن في الشهر

ب- مثال (ب)

عين كمية كبريتات الحديدوز اللازمة في اليوم لمعالجة  $10 \times 4$  لتر في اليوم إذا كان ١١ ملجرام / لتر من كبريتات الحديدوز تستهلك بالجبر المطفئ في حوض الترويب .

الحل :

كمية المياه لمعالجة =  $10 \times 4$  لتر في اليوم .

كمية كبريتات الحديدوز =  $11 \times 10 \times 4$  ملجرام / اليوم = ١٦,٠٦ طن في العام .

التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء عملية المعالجة هي:



الوزن الجزيئي للكبريتات الحديدوز هو ٢٧٧,٨٥ تقريبا ٢٧٨

الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم هو ٥٦ .

من المعادلات السابقة فإن الوزن الجزيئي من كبريتات الحديدوز تحتاج إلى وزن جزيئي من الجير المطفئ أي ٢٧٨ ملجرام من الحديدوز تحتاج

$$٣,٢٣ = ١٦,٠٦ \times ٢٧٨ / ٥٦$$

. . كمية الجير المطفئ = ٣,٢٣ طن في اليوم .

ملحوظة: الوزن الذري للعناصر المستخدمة :

$$\text{Fe} = ٥٥,٨٥ , \text{S} = ٣٢ , \text{O} = ١٦ , \text{H} = ١ , \text{Ca} = ٤٠ , \text{C} = ١٢ , \text{Al} = ٢٧$$





## الباب الثالث

### طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة



## الباب الثالث

### طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة (العكارة)

التخلص من المواد الصلبة العالقة (العكارة) تتم في مرحلتين:

المرحلة الأولى: وتشمل حقن كيماويات للترويب وترسيب المواد الصلبة العالقة.

المرحلة الثانية : الترشيح لتفقية المياه من العكارة والتطهير.

وتتم المرحلة الأولى في أربع عمليات متتالية أو متداخلة وهي:

بتجهيزات التغذية بكيماويات الترويب - الخلط السريع - الخلط البطيء - للترسيب

المرحلة الثانية: وهي الترشيح وتتم إما في مرشحات رملية بطيئة أو سريعة أو الترشيح بضغط المياه.



## القسم الأول

### تجهيز الكيماويات - الخلط السريع - الخلط البطئ

المرحلة الأولى وتشمل إعداد كيماويات الترويب فى الشكل الجاف أو المحلول ثم الخلط السريع للمروب مع المياه العكرة لتحقيق الانتشار السريع للمروب مع المياه العكرة والتلامس مع الأجسام العالقة كاملاً فى جميع محتويات الماء ثم الخلط البطئ حيث يتم الالتصاق بين زغبات المروب والمواد الصلبة العالقة وتتكون زغبات كبيرة الحجم فى حوض المزج البطئ والتي ترسب ولذلك تسمى أحواض المزج البطئ بالمروقات (Clarifiers).

#### 1- تجهيزات التغذية بكيماويات الترويب :

نظراً لأن الخلط السريع يهدف إلى الانتشار الفوري لجرعة الكيماويات خلال كتلة المياه لذلك يتم التقليب السريع للمياه مع حقن كيماويات الترويب فى أكثر المناطق اضطراباً (Turbulent) للتأكد من المزج السريع والمتجانس فى كتلة المياه ولأن تميؤ الماء المروب يتم فى ثوان قليلة كما أن عملية عدم ثبات المواد العالقة (Destabilization) نتيجة وجود شحنات كهربية مختلفة بين المروب الذى يكون زغبات موجبة الشحنة والعكارة التى تحمل شحنة سالبة تستغرق وقت صغير جداً. لذلك يوضع تجهيز الخلط السريع (Rapid Mixer) قرب مخازن الكيماويات وقريباً من حوض الخلط البطئ وتكون ماسورة التغذية للمروب قصيرة، قد تتم التغذية بالمروبات فى الشكل الجاف أو المحلول. للتغذية الجافة سهلة وتتطلب حيز صغير جداً واقتصادية ولا تحدث تآكل ولكن ليس كل الكيماويات يمكن استخدامها فى

الشكل الجاف نظراً لأن بعضها قد يحدث انسداد. التغذية الجافة تنتم للمروب ذو الحبيبات المنتظمة وثابت التركيب ولا يتمياً ولا يولد أبخرة ويظل جاف تحت ظروف الضغط والحرارة المتغيرة ولهذا يمكن استخدام كبريتات الحديدوز والجير المطفى فى الشكل الجاف.

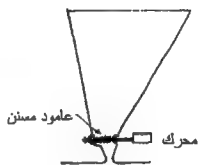
#### أ- تجهيزات التغذية الجافة بكيماويات الترويب : شكل (١٤، ١٥)

تعمل هذه التجهيزات على أساس الإزاحة الحجمية والوزنية للكيماويات الجافة حيث توضع الكيماويات فى القادوس القمعى ويجرى سحب المادة الجافة بفعل دوران العاود الممسن شكل (١٤) أو للعجلة الممسنة شكل (١٥) فى قاع القلاطوس التى تدار بواسطة الفنتوى الموجود على ماسورة المياه العكرة التى تغذى وحدة المعالجة حيث يمكن زيادة سرعة الدوران ألياً مع زيادة تدفق المياه العكرة.



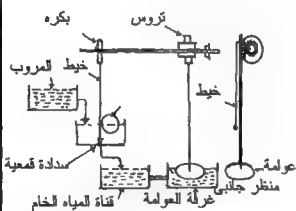
قناة للمياه العكرة

شكل (١٥) العجلة المسننة للخط الجاف



قناة للمياه العكرة

شكل (١٤) العامود المسنن للخط الجاف



شكل (١٧) للتغذية بالمروب بالمدادة القمعية



شكل (١٦) تجهيز محلول المروب

### ب- تجهيز محلول كيماويات الترويب : شكل (١٦)

يجوز المحلول للمروب في سلة معدنية مثقبة أو صندوق معدني مثقب أو أى وعاء مثقب من البلاستيك (من البولي إيثيلين أو البولي بروبيلين) ثم رشه بالماء الساخن ثم يوضع المحلول في خزانات تسع لتشغيل وردية واحدة وذلك عند استخدام الشبة كمروب. يجهز محلول الشبة بتركيز ٤-٥ % ولا يقل التركيز عن ١,٥ % قبل الحقن للمحلول سواء كان هذا المحلول معد مسبقاً من مادة المروب الصلبة أو المحلول التجارى (بتركيز ٥٠%). كما يلزم الإشارة إلى إن محلول الشبة بتركيز أقل من ١ % يجعل للشبة تكون رغبات الشبة مع مياه التخفيف قبل حقنها في كتلة المياه العكرة ، ولهذا فان تركيز محلول الشبة يجب ألا يقل عن ١,٥ % ويعد محلول الشبة كما في الشكل (١٦) والتغذية بالمحلول بالسداد القمعية شكل (١٧).

### ٢- طرق الخلط السريع : Rapid Mixing الأشكال (١٧-٢٥) .

تتوقف الطريقة المستخدمة في الخلط السريع على حجم المحطة ومعدل التدفق ونوع مادة للترويب وتشمل هذه الطرق .

الخلط الميكانيكى وهو شائع الاستعمال.

الخلط الهيدروليكى و يتميز بالبساطة في التشغيل ولا يحتاج إلى طاقة ميكانيكية.

الخلط بالمضخات وهو لا يتأثر بمعدل التدفق.

الخلط فى الخط In Line Blender ويشمل نوعين.

الخلط فى الخط الميكانيكى وهو جيد وبسيط عند كل التدفقات.

الخلط فى الخط الإستاتيكي حيث تتغير الطاقة مع معدل التدفق.



## أ- الخلط الميكانيكي :

الخلط الميكانيكي السريع يتم في حوض مجهز بأذرع الخلط وتكون سرعة دوران أذرع الخلط من ٣٠٠ - ٦٠٠ لفة في الدقيقة . ويراعى إن يصمم حوض الخلط ليوفر زمن تلامس (Contact Time) من ٢-٥ ثانية

## ب- الخلط الهيدروليكي: شكل (١٨، ١٩، ٢٠، ٢٥).

في الخلط الهيدروليكي السريع تستخدم بتجهيزات مثل القنوت أو الغرف المجهزة بعوائق (Baffles) التي تحدث اضطرابات (Turbulence) لتدفقات المياه شكل (١٨، ١٩) كما تستخدم الهدارات (weirs) والقفز الهيدروليكي (Hydraulic jumps) كما في الأشكال (٢٠) كما يمكن عمل الخلط الهيدروليكي بتغذية المحلول عند جانب السحب للطلبة مع التصميم الجيد المناسب. الشكل (٢٥) الخلط الهيدروليكي بالحوائط الحاتله.

## ج- الخلط بالمضخة على الخط : شكل (٢٢)

يشمل الخلط السريع بالمضخة على الخط بتجهيزات ميكانيكية وهيدروليكية وفي هذه الحالات يجب ألا يزيد معدل ضخ الماء بالطلبة عن ١٠٠ ضعف حجم المحلول للمروب شكل (٢٢).

## د- الخلط في الخط: (In Line Blender)

ويشمل الخلط الميكانيكي في الخط والخلط الاستاتيكي في الخط.

الخلط الميكانيكي شكل (٢١، ٢٢) والخلط الإستاتيكي شكل (٢٤).

عند استخدام التغذية الميكانيكية لمحلول الشبة في الخط فإنه يمكن تغذية الشبة مباشرة لمامورة الطرد لمضخات الضغط العالي حيث يسحب المحلول بواسطة مروحة تتبع لفاتها لفات عمود إدارة مضخة الضغط المنخفض فيكون تصرف الجرعة مناسب لتصرف ماسورة التغذية.

وهناك طريقة أخرى موضحة في الشكل (٢٣) فعند مرور المياه في الماسورة (أ) إلى الاتجاه (ب) تدور مروحة صغيرة (ج) بواسطة مجموعة الحركة المبينة في الشكل فيدور عمود المضخة (د) التي تنقل المحلول في الماسورة بمعدل يتوقف على سرعة المياه في الماسورة (أ).

وفي جميع حالات الخلط السريع فإن سرعة تدفق المياه في وعاء الخلط تكون ما بين ١٥-٣٠ سم / ث ولا تقل السرعة عن ١٠ سم / ث ولا تزيد عن ٧٥ سم/ث حيث في الحالة الأولى فإن الزغبات ترسب وفي الحالة الثانية فإنها تذيب وتختفي.

### ٣- تكوين الزغبات بالخلط البطيء : flocculation

الاشكال أرقام (٣٦ - ٣٠)

أ- رحلة المياه ما بين حوض الخلط السريع وحوض الخلط البطيء (الترغيب):

السرعة المناسبة للمياه من حوض الخلط السريع الى حوض الخلط البطيء هي ٧٠ سم/ث وقنوات للتوزيع للمياه ما بين حوض الخلط السريع وحوض الترغيب عادة تتناقص تدريجيا في مساحة المقطع للمحافظة على ثبات سرعة المياه. وفي المحطات الكبيرة فإن مسافة انتقال المياه من أحواض للخلط السريع الى أحواض الخلط البطيء قد تزيد عن ٤٠ متر. ويتدفق المياه بسرعة بطيئة خلال المواسير أو القنوات المجهزة بالهدارات المغمورة لتبطيء السرعة مع تجنب الاضطرابات في حركة المياه وكذلك ثبات كلا من المنسوب ومعدل التبطيء لسرعة المياه. الزغبات التي تتكون بعد ٢ ثانية من إضافة للمروب والخلط السريع تنفقت إذا كان هناك اختلاف في السرعة أو المنسوب في مسار المياه من الخلط السريع الى الخلط البطيء. الزغبات المفتتة قد لا ترسب بسرعة ولا يعاد تجميعها مما يتطلب سرعة التغذية بالمروب ولذلك فإن أقصى زغبات مناسبة للترسيب والترشيح هي التي تتكون في ظروفخفض للمنترج لسرعة المياه.

وهناك فكر آخر الذى يوصى بتوفير طاقة متغيرة ومفاجئة فى حوض التزغيب وهذه تتم فى شكل نبضات (Variable Energy or Pulsating Energy). ولن كان هذا يخالف نظرية الطاقة (السرعة) المتدرجة فى التبطئ ولضمان نجاح فكرة النبضات المفاجئة (Pulsation) والتي ستناقش فى القسم الثالث من الباب الثالث فإنه يلزم عمل التجارب النصف صناعية قبل التصميم لهذا النوع من أحواض التزغيب.

### ب- التزغيب بالخلط البطئ : Flocculation :

فى حوض الخلط البطئ والمستمر تتكون الزغبات نتيجة التصاق الجسيمات الصغيرة العالقة لتكوين جسيمات اكبر حجما يمكن إزالتها بالتزريب أو بالترشيح. إن بناء أقصى حجم من الزغبات والذي يتراوح ما بين ٠,١ الى ٠,٢ ملليمتر يتطلب الخلط البطئ لمدة ٢٠ق مع التدرج فى تقليل طاقة الخلط أى فى تقليل سرعة أزرع الخلط عند استخدام الخلط الميكانيكى أو باستخدام الحوائط الحائلة. ولذلك فإن حوض التزغيب يجب أن يوفر الالتصاق أو الصدمات الهادئة بين الأجسام العالقة وتتوقف عملية التزغيب على عدد هذه الصدمات بين الزغبات الصغيرة فى وحدة الزمن. لذلك فعند تصميم حوض التزغيب لا يؤخذ فى الاعتبار التدرج فى السرعة (G - الطاقة) فقط بل كذلك زمن المكث Detention Time(T) والنتائج GT هو قياس لعدد الصدمات للجسم العالق وبالتالي لعملية تكرين الزغبات.

$$\sqrt{\frac{MV}{P}} = G \text{ والتدرج فى السرعة}$$

حيث :

G = التدرج فى السرعة ( ثنية<sup>-١</sup> )

P = الطاقة المنقولة للمياه (كيلو وات )

V = حجم المياه أو حجم حوض الخلط البطئ (التزغيب )

M = لزوجة الماء

### للزوجة للماء هي :

$$1,14 \times 10^{-3} \text{ م}^2 / \text{ث عند درجة حرارة } 15^\circ \text{ م}$$

$$1,0 \times 10^{-3} \text{ م}^2 / \text{ث عند درجة حرارة } 20^\circ \text{ م}$$

$$0,9 \times 10^{-3} \text{ م}^2 / \text{ث عند درجة حرارة } 25^\circ \text{ م}$$

$$0,8 \times 10^{-3} \text{ م}^2 / \text{ث عند درجة حرارة } 30^\circ \text{ م}$$

القيم المثالية لقيم (GT) في حوض الترغيب هي كالآتي :

$$G \text{ sec}^{-1} = 40 - 90$$

$$T \text{ sec} = 1200 - 1800$$

$$GT = 0.0000 - 15.0000$$

ولكل نوع من أحواض الترغيب يتم الاختيار بعناية لقيمة GT المناسبة وتكون عالية بما يوفر أفضل تكوين للزغبات بدون حدوث تفتت أو تشتت لهذه الزغبات بعد تكوينها. وكذلك يمكن تحسين الصدمات الداخلية للزغبات باستخدام كيماويات مساعدة مثل السيليكا المنشطة أو البولي اليكتروليت وهما من مساعدات الترويب كما أنه من المفضل توفر قوة قص مستمرة (Shear Force) لتبطي السرعة في كل مقطع الحوض ولهذا يقسم حوض الترغيب إلى غرف لمنع قصر الرحلة والتناقص في الطاقة ولهذا توضع العوائق (Baffles) في حوض الترغيب الهيدروليكي الكبير فقط والذي تزيد طاقته عن 20000 متر مكعب في اليوم وتلغى في الأحواض ذات الطاقة أقل من ذلك لتبسيط التصميم. وفي حالة عدم وجود تقسيمات في الحوض يزداد زمن المكث عن 20 دقيقة. وإذا كان الحوض يعمل بالترغيب والترسيب معا فإن الطاقة المستخدمة تكون أقل وزمن المكث للماء في الحوض يكون من 18-25 دقيقة. ويجب مراجعة حجم وكثافة الزغبات بالنسبة لعملية الترسيب والترشيح. الزغبات الكبيرة قد تكون قابلة للترسيب ولكنها غير مناسبة للترشيح المباشر والذي يتطلب عندئذ الغسيل للعكسي للمرشح من إن إلى آخر. الزغبات

المناسبة للفصل بالترشيح المباشر (بدون الترسيب الممبق) هي الزغبات صغيرة الحجم وذات الكثافة العالية.

## ٤- أحواض المزج البطئ (الترغيب) : Flocculator :

المزج البطئ لتكوين الزغبات يمكن أن يتم بالتجهيزات الميكانيكية أو بالطرق الهيدروليكية. المزج الهيدروليكي للبطئ مناسب للمحطات الصغيرة والميكانيكي مناسب لكل المحطات الصغيرة والكبيرة.

### أ- المزج الميكانيكي البطئ (الترغيب الميكانيكي) : Mechanical Flocculator :

المزغبات الميكانيكية تتكون غالبا من الأزرع والتي تدور بسرعة بطيئة جدا بمعدل ٢-٣ لفة في الدقيقة. وأزرع التقلب قد تدور على عمود إدارة رأسي أو أفقي. المزغبات ذات العمود الإدارة الرأسي وأزرع التقلب العمودية عادة تكون مرتبطة بأحواض مربعة وأقصى أبعادها هي ٦ متر  $\times$  ٦ متر وعمق من ٣ - ٥ متر. المزغبات ذات الهيكل الأفقي وأزرع التقلب الأفقية عادة تكون طويلة ويتراوح الطول ما بين ١٠ - ٣٠ متر والعرض ما بين ٣ - ٥ متر والأبعاد الصغيرة هي المستخدمة عادة.

وتصمم الحوائط الحائلة في أحواض الترغيب بالتقلب الميكانيكي البطئ لمنع قصر المسافة (Short Circuit)، وتكون مسافة الفتحات في الحوائط الحائلة بما يسمح بسرعة تدفق للمياه من ٣٠-٤٥ سم/ث. وعادة فإن أحواض التقلب الميكانيكي البطئ ذات أزرع التقلب الأفقية. ولذلك فإن السرعة العالية قد لا تنتج الزغبات المناسبة للترسيب في المروقات ذات أزرع التقلب للعمودية مما يتطلب زيادة جرعة المرويات أو إضافة مساعدات الترويب (Coagulant Aids). أحواض الخلط البطئ ذات الأزرع العمودية تكون أجزاء الحركة بها غير مغمورة في الماء وهي عادة أقل في التكاليف وأزرع التقلب الأفقية أكثر مناسبة للاستخدام في حالة الترشيح المباشر والسرعة المناسبة لأزرع التقلب هي من ٣٠-٧٥ سم/ث

الباب الثالث: طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة

وتصمم الهدارات لخروج المياه من حوض التقلب الميكانيكى بسرعة ٣٠ سم / ث  
أو بتوفير نسبة فتحات من ٣-٦% شكل (٢٩، ٣٠).

ب- المزج الهيدروليكى البطئ (التزغيب الهيدروليكى) Hydraulic Flucculator:  
الأشكال (٢٦-٢٩)

للتزغيب الهيدروليكى بسيط وفعال وخاصة فى حالة ثبات للتدفقات ويمكن  
توفير الطاقة للماء وقصر الرحلة باستخدام العوائق المعقدة (Maze Type) شكل  
(٢٦) أو باستخدام العوائق ذات للتدفق المتقاطع شكل (٢٧). العوائق المعقدة  
تعطى نتائج جيدة عند سرعات ٢٠-٤٠ سم/ ث وقد يكون التزغيب جيد بسبب  
الاضطراب الذى يحدث نتيجة التغير فى الاتجاه ١٨٠ درجة عند نهاية كل عائق.  
وفى المزغبات ذات العوائق الأفقية لأشكال (٢٦، ٢٧) فإن السرعة المياه عموما هى  
من ١٠-٣٠ سم / ث وزمن المكث من ١٥-٢٠ ق، هذا النوع يناسب المحطات  
الصغيرة جدا. وتتوقف الكفاءة على عمق للمياه فى الحوض والذى يتراوح ما بين  
٣-٥ متر لكل من حوض التزغيب والمروق بالإضافة إلى وجود ميل فى قاع  
الحوض. وتجهز الأحواض ذات للتدفق المتقاطع شكل (٢٧) بفتحات فى قاع  
العوائق لأغراض النظافة بارتفاع ١٠-١٥ سم ويطول ٤٠-٦٠ سم.

للمزغبات ذات التدفق الرأسى خلال الحارات المعدة بالعوائق الرأسية تناسب  
المحطات المتوسطة والكبيرة وسرعة المياه فيها من ١٠-٢٠ سم / ث وزمن المكث  
من ١٠-٢٠ ق ويعد الحوض كذلك بتجهيزات لإزالة الرواسب شكل (٢٨).

ج- المزغيب الهيدروليكى ألاباما : Alabama flocculator شكل (٣١)

يتكون المزغيب الهيدروليكى ألاباما من غرف منفصلة ملتصقة على التوالى  
حيث يتدفق المياه خلالها فى اتجاهين ومن غرفة الى الغرفة التى تليها تدخل المياه  
اسفل كل عائق مجاور عند نهاية القاع خلال مخارج منحنية الى أعلى ولأحداث  
التزغيب للمؤثر فى كل غرفة فإن المخارج توضع على عمق ٢,٥ متر اسفل  
منسوب المياه.

### بيانات التصميم لمزغب ألا باما :

الطاقة العادية لكل غرفة من ٢٥ - ٥٠ لتر/ث لكل متر مربع .

السرعة عند الانحناءات من ٤٠ - ٥٠ سم/ث .

طول الغرفة للوحدة (L) من ٠,٧٥ - ١,٥ متر .

العرض (B) من ٠,٥ - ١,٢٥ متر .

العمق (H) من ٢,٥ - ٣,٥ متر .

زمن المكث (T) من ١٥ - ٢٥ ق .

والفقد في الضغط عادة من ٠,٣٥ الى ٠,٥ متر لكل وحدة والتدرج في السرعة عادة من ٤٠ - ٥٠ ثانية<sup>١</sup>

الجدول رقم (١٠) يوفر بيانات استرشادية لتصميم مزغب ألا باما.

مثال :

معدل التدفق (Q) = ١,٢ م<sup>٣</sup>/ق، زمن المكث = ١٥ ق

الحل :

معدل التدفق ١,٢ م<sup>٣</sup>/ ق = ٢٠ ل /ث

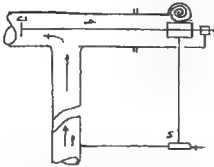
بما أن قطر الماسورة المنحنية ٢٥٠ مم (١٠") (D)

حجم الغرفة للوحدة ١,٣ م<sup>٣</sup> (العرض B=٠,٦ متر، الطول L = ٠,٧٥ متر)

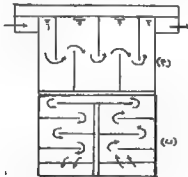
إجمالي الحجم المطلوب = معدل التدفق × زمن المكث

$$= ١٨ = ١٥ \times ١,٢ \text{ م}^٣$$

عدد الغرف = ١,٣ / ١٨ = ١٤ غرفة



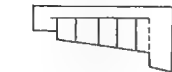
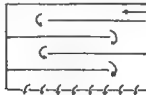
شكل (٢٣) خلط ميكانيكي على الخط



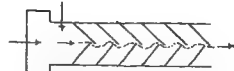
شكل (٢٤) خلط المرير بالحوائط الحائلة (أب)



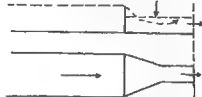
شكل (٢٥) خلط مرير بالحوائط الحائلة (أب)



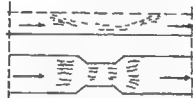
شكل (٢٦) حوض العوائق المعقدة



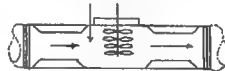
شكل (٢٨) الخلط الهيدروليكي المرير بالقناة  
المجهزة بعوائق



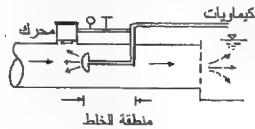
شكل (٢٩) الخلط بالهدار المستخدم كذلك  
لقياس التصريف



شكل (٣٠) الخلط المرير بالقلز الهيدروليكي

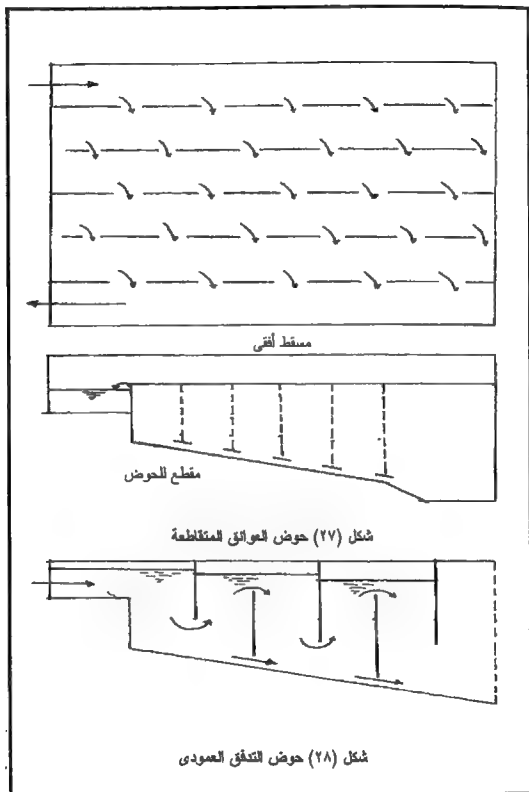


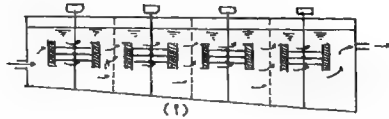
شكل (٣١) خلط ميكانيكي على الخط  
(In Line Blender)



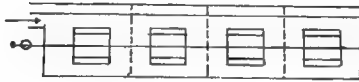
شكل (٣٢) خلط ميكانيكي على الخط  
باستخدام طلمبه



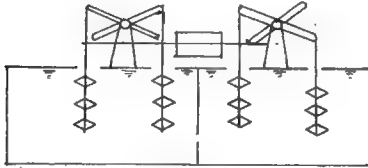




(٢)

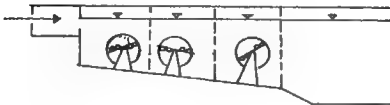


(٤)



(ج)

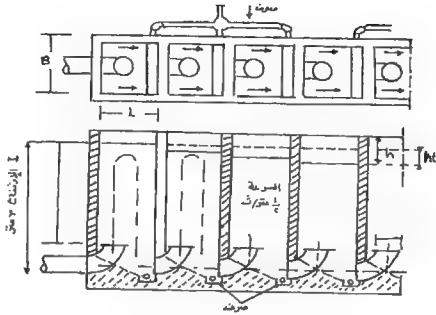
شكل (٢٩) قلابات ميكانيكية عمودية على اتجاه التدفق للمذج البطيئ



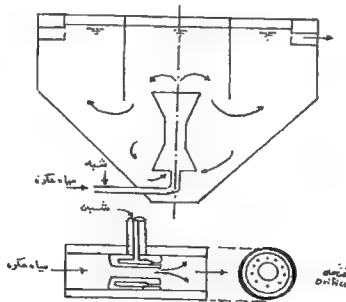
شكل (٣٠) قلاب ميكانيكي يدور في اتجاه التدفق

جدول رقم (١٠) بيلت عملية استرشادية لتصميم مزغب الاياما

| معدل التدفق<br>Q لتر / ث | العرض B<br>بالمتر | الطول<br>L بالمتر | القطر<br>D سم | مساحة الغرفة<br>للوحد م <sup>٢</sup> | حجم الغرفة<br>للوحد م <sup>٣</sup> |
|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| ١٠                       | ٠,٥               | ٠,٦               | ١٥٠           | ٠,٣٥                                 | ١,١                                |
| ٢٠                       | ٠,٦               | ٠,٧٥              | ٢٥٠           | ٠,٤٥                                 | ١,٣                                |
| ٣٠                       | ٠,٧               | ٠,٨٥              | ٣٠٠           | ٠,٦                                  | ١,٨                                |
| ٤٠                       | ٠,٨               | ١,٠٠              | ٣٥٠           | ٠,٨                                  | ٢,٤                                |
| ٥٠                       | ٠,٩               | ١,١               | ٣٥٠           | ١,٠٠                                 | ٣,٠٠                               |
| ٦٠                       | ١,٠٠              | ١,٢               | ٤٠٠           | ١,٢                                  | ٣,٦                                |
| ٧٠                       | ١,٠٥              | ١,٣٥              | ٤٥٠           | ١,٤                                  | ٤,٢                                |
| ٨٠                       | ١,١٥              | ١,٤               | ٤٥٠           | ١,٦                                  | ٤,٨                                |
| ٩٠                       | ١,٢               | ١,٥               | ٥٠٠           | ١,٨                                  | ٥,٤                                |
| ١٠٠                      | ١,٢٥              | ١,٦               | ٥٠٠           | ٢,٠٠                                 | ٦                                  |



شكل (٣١) مذبذب الأليما



شكل (٣٢) مذبذب هيدروليكي

## القسم الثاني

### أحواض الترسيب

تعتبر عملية الترويق للمياه بترسيب الزغابات المتكونة بعد الترويب بالخلط البطيء من أهم العمليات فى تنقية مياه الشرب، فقد استخدمت أحواض الترسيب ذات التدفق المستمر مع الإزالة المستمرة للرواسب بالطرق الميكانيكية والتي سميت بالمروقات (Clarifiers) - الترويق الجيد للمياه المروية والذي يسبق الترشيح يمكن من الأداء الجيد للمرشحات وطول فترة عملها كما يقلل من مشاكل المرشحات مثل التشققات وتكوين الكرات الطينية. ويستخدم أحيانا الترسيب الأولي لتقليل (Plain Sedimentation) الأحمال من الرواسب قبل الخلط بكيماويات الترويب لإزالة نسبة كبيرة من المواد العالقة للمسببة للون والمذاق والرائحة. أما الاستخدام الرئيسى لعملية الترسيب فى تنقية مياه الشرب فهو بعد عملية الترويب لإزالة الأجسام العالقة التى أصبحت أكثر قابلية للترسيب. أحواض الترسيب تتصف بالسهولة فى التشغيل والاستخدام القليل جدا للطاقة وهى أما أن تكون مستطيلة أو مستديرة أو ذات القاع القمعى أشكال (٣٣ - ٣٩).

#### ١- أحواض الترسيب المستطيلة : شكل (٣٣)

وهذه الأحواض مستطيلة من المنظور الرأسى (Plan) وبها عدد كبير من الحوايط الحائلة (Baffle Walls). ومهمة الحوايط الحائلة هو تقليل سرعة المياه لزيادة زمن رحلة الجسم العالق. وهذه الأحواض مزودة بمدخل ومخرج ممتدة إلى

الباب الثالث: طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة

كل غرف الحوض. الأرضية بين الحوائط تكون مائلة في اتجاه المنتصف على شكل قمع حيث توجد ماسورة سحب الروية. ويجرى سحب الروية تحت الضغط الهيدروستاتيكي ويتشغل محبس مكينة.

### ٢- أحواض الترسيب المستديرة (الدائرية) :

وهذه لا تستخدم فقط في الترسيب بل تستخدم في الترسيب مع الترويق. وتقسّم إلى نوعين حسب تدفق المياه بداخلها.

#### أ- أحواض الترسيب الدائرية ذات التدفق الأفقي : Radial Flow

يوضح الشكل (٣٤) مقطع في حوض ترسيب مستدير حيث توضح ماسورة دخول المياه داخل صندوق عاكس. الصندوق العاكس يعكس المياه إلى أسفل ثم تخرج من الفتحات في لجانب قاع الصندوق العاكس. تخرج المياه أفقياً من الصندوق العاكس في اتجاه المحيط الخارجى للحوض. وهذا المحيط مجهز كله بمخرج للمياه. ترسب كل المواد العالقة على ميول القاع وتخرج المياه بعد التلخص من هذه المواد العالقة خلال المخرج. تزال الروية (Sludge) بزحافة تدور باستمرار حول القاع، أقصى سرعة لزراع الزحافة (Racking Arm) لا تزيد عن ٤,٥ متر في الساعة

#### ب- أحواض الترسيب الدائرية ذات التدفق المحيطي : Circunferential Flow

يبين الشكل (٣٥، ٣٦) مسقط رأسى لحوض الترسيب الذى يعمل بالتدفق المحيطي. تدخل المياه إلى الحوض خلال ٢-٣ فتحة رأسية. يوجد ذراع دوار في الحوض والذي يعمل على تحريك المياه على طول محيط الحوض، بينما المياه تتحرك بسرعة بطيئة جدا بما يسمح للأجسام العالقة أن ترسب و أن تزال من مخرج الروية.

#### ج- أحواض الترسيب ذات القاع القمعي : (Hopper Bottom Tank)

وهي أحواض ذات تدفق رأسى شكل (٣٧). تدخل المياه من أعلا إلى صندوق عاكس (Deflector Box). وبعد التدفق إلى أسفل داخل الصندوق العاكس فإن

للمياه تعكس اتجاهها وتتدفق إلى أعلا حول الصندوق العاكس. الأجسام العالقة ذات الكثافة أكبر من كثافة الماء لا تستطيع متابعة المياه أثناء انعكاس اتجاهها وترسب في القاع، ثم تزال خلال مخرج الروية تحت الضغط الهيدروستاتيكي. توجد قنوات تجمع المياه للرائقة عند قمة الحوض.

وعموما فإن التغذية في الأحواض المستديرة شكل (٣٨، ٣٩) يكون عادة من المنتصف حيث يتم التدفق للخارجى فى اتجاه هدارات. وقاع للحوض يكون عادة قمعى بسيط (Slightly Conical) إلى بشر الروية فى المنتصف. يتم تنظيف القاع وإزالة الروية باستخدام قصبية لتوجيه الروية إلى البئر المركزى. التدفق المحيط جيد من الناحية النظرية نظرا للنقص التدريجى لسرعة المياه. كما أن طول المحيط يسمح بطول هدار طاقى وبالتالى قلة التحميل على الهدار. والهدارات يجب أن تكون مجهزة للضبط (Adjustable Weirs) تنشأ بدقة شديدة لمنع التدفق الغير متجانس حول الحوض. وقد تكون كفاءة للترسيب أقل من المتوقع نظرا لعدم انتظام التدفق الأفقى ويوجد استثناء واحد حيث حوض التدفق من المركز إلى المحيط. تستخدم المروقات الدائرية للتزغيب والترويب والترسيب فى أن واحد.

معظم أحواض الترسيب المستخدمة فى تنقية المياه لأغراض الشرب هى ذات التدفق الأفقى ويوجد استثناء واحد حيث حوض التدفق العلوى مع التصاق الأجسام الصلبة (Up flow Solid Contact Basin) الذى يجمع للخلط بالكيمائيات والتزغيب والترويب والترسيب بالتدفق العلوى فى وحدة واحدة ويستخدم أساسا فى إزالة عسر المياه بطريقة الصودا - الجير (Soda lime process) - وأحواض التدفق الأفقى قد تكون مستطيلة أو مربعة أو دائرية (فى المسقط الرأسى). وللمستخدم عادة هو الأحواض المستطيلة والدائرية ذات التغذية من مركز الدائرة. ويتوقف استخدام أى منها على عدة اعتبارات منها الناحية الاقتصادية. وبالنسبة للمحطات الصغيرة فإن الأحواض المستطيلة ذات التدفق الأفقى أكثر ملاءمة فى الإنشاء شكل (٣٣) وقد ثبت أن الأحواض المستطيلة تعطى كفاءة للترسيب عالية خاصة فى المحطات الكبيرة. معظم أحواض الترسيب تنظف باستمرار بالآليات ميكانيكية تختلف طبقا لنوع للحوض المستخدم.

### ٣- كفاءة الترسيب في أحواض الترسيب المستطيلة :

يمكن أن يقسم حوض الترسيب إلى أربعة أقسام وهي منطقة الدخول ومنطقة الترسيب ومنطقة الخروج ومنطقة تجميع الرواسب (الرؤية) الشكل رقم (٤٠).

\* منطقة الدخول: تقوم بتوزيع المياه بالتساوي على مساحة المقطع للحوض وتوفر الانتقال الهادئ للمياه في شكل تدفقات منتظمة في منطقة الترسيب.

\* منطقة الترسيب: وهذه توفر الحجم والمساحة السطحية لحدوث الترسيب.

\* منطقة الخروج: توفر خروج المياه الرائعة بانتظام خلال كل العمق والعرض للحوض وتوفر الانتقال الهادئ من منطقة الترسيب إلى التدفق الخارجى من حوض الترسيب شكل (٤٠) يوضح المناطق الفرضيه الأربع لحوض الترسيب.

\* منطقة تجميع الرواسب (الرؤية) في قاع الحوض.

الممر لذى يتبعه الجسم العالق في حوض الترسيب يتوقف على سرعتين هما سرعة الإزاحة الأفقية للمياه وسرعة الترسيب للجسم العالق شكل (٤١) وفي الظروف المثالية فإن السرعة الأفقية للمياه وكل الأجسام العالقة بها تكون ثابتة، وتوزيع سرعات الترسيب يمكن تحديده بالتجربة التى سيتم الإشارة إليها.

كفاءة حوض الترسيب في ترسيب المواد العالقة تحدد طبقا للقاعدة شكل (٤٢)

$$\frac{Q}{BL} = S_o \quad \text{سرعة الترسيب في الاتجاه الرأسى}$$

$$\frac{Q}{BH} = V_o \quad \text{سرعة الترسيب في الاتجاه الأفقى}$$

$$\frac{H \times V_o}{L} = S_o \quad \frac{H}{L} = \frac{BH \times Q}{Q \times BL} = \frac{S_o}{V_o}$$



$$\frac{H}{T} = \frac{Q}{LB} = \frac{H \times Q}{L \times BH} = S_o \quad \frac{LBH}{Q} = T$$

وباستخدام قاعدة سرعة الترسيب في الاتجاه الرأسى ( $S_o$ ) لجسم في زمن ( $T$ ) لتصل إلى قاع الحوض ( $H$ ) يمكن استخدام المعادلات الآتية :

$$\frac{Q}{LB} = S_o, \quad \frac{LBH}{Q} = T, \quad \frac{H}{T} S_o$$

حيث  $S_o$  = سرعة الترسيب متر في الساعة.

$T$  = زمن المكث في الحوض بالساعة.

$Q$  = التدفق م<sup>٣</sup> في الساعة.

$H$  = عمق الحوض بالمتر.

$B$  = عرض الحوض بالمتر.

$L$  = طول الحوض بالمتر.

$$S_o = \frac{Q}{LB} \text{ م}^2 / \text{م}^2 \text{ في الساعة} = \text{متر في الساعة}$$

وهذا يعنى أن كفاءة الترسيب تتوقف على النسبة بين معدل التدفق للمياه الداخلة والمساحة السطحية لحوض الترسيب. وهذا هو التحميل السطحي وهو مستقل عن عمق الحوض. لذلك فإن كفاءة الترسيب يمكن زيادتها بإنشاء حوض إضافي شكل (٤٣). عندئذ المساحة السطحية ستزداد كثيراً والتحميل السطحي سوف يقل.

$$\frac{L}{V_o} > \frac{H}{V_o} \quad \text{حالة دخول المياه إلى منطقة الترسيب هي}$$

ولذلك فإن المياه يجب أن تظل في منطقة الترسيب حتى وصول جميع المواد العالقة إلى منطقة تجمع الرواسب. وهذا هو زمن المكث المياه في الحوض

(Detention Time) والذي يعادل سعة (حجم) الحوض على معدل التدفق. زمن المكث في الحوض يجب أن يزيد عن التصميمي النظري وهو يتراوح ما بين ٢-٤ ساعة في حالة التنظيف الميكانيكي، ٦-٨ ساعة في حالة الترسيب العادي.

## ٤- إختبار الترسيب :

لتحديد بيانات منطقة الترسيب أو الترويق للأجسام العالقة الحرة (Discrete) أو الزغبات المروية تستخدم عدة طرق لقياس معدل رسوب الجسم العالق ومن بين هذه الطرق استخدام الإسطوانة الطويلة أو القصيرة. فإذا كانت الأجسام العالقة من الزغبات المروية وأنها تلتصق ببعضها بسهولة عند الترسيب فإن الإسطوانة الطويلة تعطى نتائج خاطئة حيث تظهر المياه أكثر نقاءً في العينات المأخوذة من الصنابير السفلى (أى أن النقاء يتحسن عند سرعة الترسيب العالية). وفي هذه الحالة فإن الوقت فقط هو المتغير الوحيد في النقاء. ولذلك يوصى بعمل الإختبار البسيط لزمن المكث.

في طريقة الإختبار تستخدم إسطوانة من البلاستيك الشفاف بقطر حوالى ٢٠سم وإرتفاع ٢ متر وتزود بصنابير لسحب العينات المختبرة كل ٢٠ - ٣٠ سم. تملأ الإسطوانة وهي في الوضع للرأسى بعينة ممثلة للمياه العالق بها أجسام صلبة أو المروية المطلوب إختبارها. وعلى فترات زمنية تسحب عينة حوالى ١٠٠سم<sup>٣</sup> من الصنابير بالتتالى مع البدء بأعلى صنوبر. والفترة الزمنية المناسبة هي ٣٠ ق وتكون نتائج العينات الأخيرة بعد زمن مكث ٢ ساعة. ويتم إختبارها بما يمكن حوالى أربع عينات تحقق للهدف من إزالة المواد العالقة. وهذه للتجربة سوف تظهر أثر عامل الوقت في الترويق. يتم تحليل العينات بالنسبة لتركيز المواد الصلبة العالقة بأى طريقة مناسبة مثل الترشيح في بوتقة الترشيح (Gouache Crucible) أو بالطرد المركزي فى أنبوبة مدرجة.

## ٥- التحميل السطحي وأبعاد حوض الترسيب :

عند الترسيب الأولى للمياه العكرة قبل للترويب فإن التحميل السطحي عموماً يكون من ٠.١ إلى ١ متر فى الساعة. ولكن بالنسبة لأحواض الترسيب للمياه المعالجة بالمرويات يزداد التحميل السطحي ليكون من ١-٣ متر فى الساعة. وفى كلا الحالتين كلما قل التحميل السطحي كلما تحسنت التنقية للمياه وقللت العكارة كثيراً. وعند الأخذ فى الاعتبار أهمية تجنب قصر الرحلة (Short Circuit) وكذلك احتمالات سحب الرواسب بواسطة تدفقات المياه (Scouring) عند قاع الحوض. ولتقليل هذه السلبيات إلى أدنى حد ممكن فإن حوض الترسيب لا يكون ضحلاً وأن عمقه لا يقل عن ٢ متر وأن النسبة ما بين الطول إلى العرض تكون من ٣ إلى ٨. والسرعة الأفقية للمياه تكون من ٤ إلى ٣٦ متر فى الساعة (بمتوسط ١٠ متر فى الساعة) وأحواض الترسيب ذات عمق ٢ متر أو أكثر يمكن أن تجهز بالمعدات الميكانيكية اللازمة لإزالة الروبة أما فى حالة الإنشاءات الصغيرة فإنه يفضل الإزالة اليدوية للرواسب والتي تحدث على فترات من أسبوع إلى عدة أسابيع. وقاع الحوض يجب أن يستوعب الروبة المتجمعة خلال الفترة الزمنية بين توقيات التنظيف.

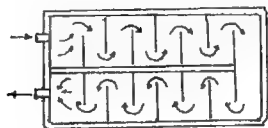
## ٦- المداخل والمخارج لحوض الترسيب : شكل (٢٢-٢٥)

فى حوض الترسيب يجب توفير تنظيم منفصل لدخول المياه لضمان التوزيع المتساوى للمياه على كل العمق والطول لحوض الترسيب. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام تصميمات متعددة منها ما هو موضح بالشكل (٢٢) وفى حالة القناة على كل عرض الحوض والتي بها عدد كبير من الفتحات الصغيرة فى القاع لتدخل منها المياه إلى منطقة الترسيب. ولتنظيم توزيع المياه الدخلة تكون الفواصل بين الفتحات الصغيرة قريبة من بعضها بمسافة لا تقل عن ٠.٥ متر والقطر من ٣ - ٥ سم حتى لا يحدث انسداد. وتكون قناة المدخل ذات مساحة مقطع ضعف مساحة الفتحات. وعادة فإن المياه تخرج من الحوض خلال هدارات. أما منطقة الدخول إلى الحوض فتكون حوايط حائلة (Baffles). للحائط الحائل هو الذى تمر المياه من أسفله وتكون فتحة دخول المياه إما مستمرة ما أمكن أسفل الحائط أو على شكل

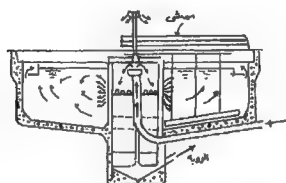
عقود بقاع الحوض. أما الهدار فهو حائط أقل قليلاً في الارتفاع من منسوب المياه التي تمر فيه. يصمم الهدار لتحقيق معدل تصرف ثابت ويمكن زيادة طول الهدار بالجوانب أو تركيب مجرى معلق. وعند سحب المياه الرالقه فوق الهدارات المنخفضة يراعى الوضع المناسب.

لقمة الهدار لتجنب حيودها عن الأفقى لضمان السحب المنتظم للمياه. تصنع قمة الهدار من شرائط معدنية (صلب مقاوم أو ألومنيوم) مثبتة بمسامير على الحائط الخرساني للهدار. وقمة هذه الشرائط ليست مستقيمة بل بها فتحات بفواصل. والبديل الآخر هو الفتحات فى حوضى للترسيب ذات مساحة أصغر من فتحات دخول المياه نظراً لقلة المواد العالقة ولضمان عدم انسدادها. توضع الهدارات على مسافات متساوية من منتصف الحوض. وتصمم قنوات تلقى المياه الرائق لتغطية من  $\frac{3}{1}$  إلى  $\frac{2}{1}$  الحوض وتوضع لاستقبال المياه من نهاية سطح التفتقات عند نهاية الحوض. وفى حالة سحب الروبة بالسلاسل (Chain Drag) توضع الهدارات بطول عرض الحوض. أما فى حالة استخدام القصايات التى تعمل بالشفط أو بالأنرغ فإن أحواض الهدارات توضع طولى كالهدارات الإصبعية المحملة على بغال تحميل.

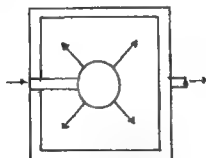
وقاع حوض الترسيب يختلف فى الشكل إذ يكون بانحدار بين  $\frac{10}{1}$  الى  $\frac{20}{1}$  فى جميع الطول عندئذ يفضل ان يكون مخرج الرواسب عند الجهة التى تدخل منها المياه وليس عند جهة مخرج المياه لتجنب تحريك الرواسب فى منتصف الحوض إذا كان انحدار للقاع فى الجهتين بما يوفر فى حجم الحوض. كما يجهز الحوض بماسورة فائض للمحافظة على منسوب المياه فى الحوض. وفى حالة تنفيذ المداخل والمخارج ومنطقة تجميع الرواسب بطريقة صحيحة فان كفاءة حوض الترسيب ترتفع نظراً لعدم الاضطراب فى منطقة الترسيب وان كان فى كثير من أحواض الترسيب تحدث إزاحة بالتفتقات خلال منطقة الترسيب نتيجة لقصر رحلة هذه التفتقات. كما قد يحدث اضطراب او نحر بما يترتب عليه حمل الرواسب الى الحائط البعيد ثم الى مخرج المياه. ولتجنب ذلك فان للمياه المروبة تدخل حوض



شكل (٣٣) حوض ترسيب مستطيل مجهز بعائق



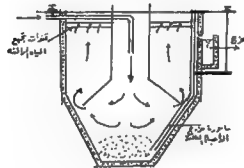
شكل (٣٤) حوض ترسيب دائري بالكتف الألفي



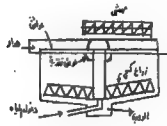
شكل (٣٥) حوض ترسيب مربع كتف محيطي



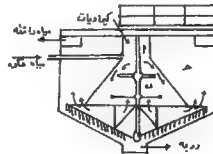
شكل (٣٦) حوض ترسيب دائري تغذية محيطيه وتكثف محيطي



شكل (٣٧) حوض ترسيب بالقاع القمعي



شكل (٣٨) حوض ترسيب دائري

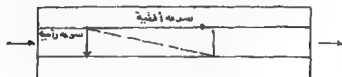


شكل (٣٩) حوض دائري للترسيب والترسيب

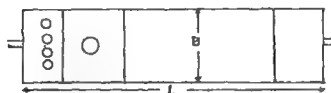
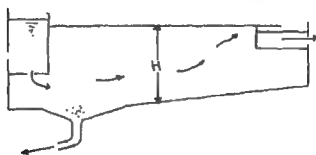
- أ- الخلط السريع
- ب- الخلط البطيء
- ج- تكثف علوي وتكون طبقة زغبات



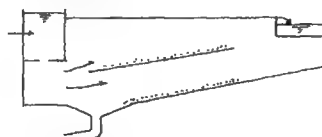
شكل (٤٠) المناطق الفرضية في حوض الترسيب المستطيل



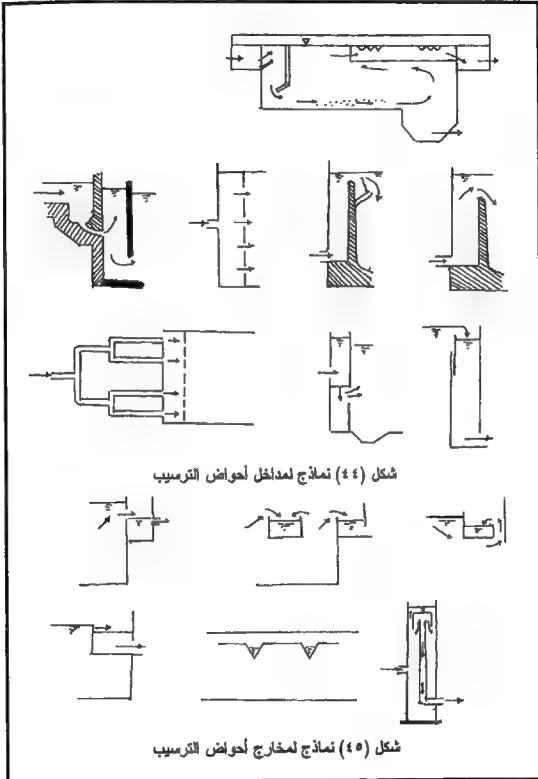
شكل (٤١) محصلة السرعة في حوض الترسيب المستطيل



شكل (٤٢) حوض ترسيب مستطيل - التدفق أفقي



شكل (٤٣) حوض ترسيب له سطحين للترسيب





الترسيب من مدخل منفصل حيث تقسم المياه بالتساوي على طول عرض وعمق الحوض وبالمثل في نهاية الحوض يصمم المخرج لتجميع المياه الراقية بانتظام وتزال بانتظام الرواسب المتجمعة في قاع الحوض شكل (٣٣ - ٣٩) يوضح أشكال التدفق في بعض أحواض الترسيب.

## ٧- اثر خواص المياه على تصميم أحواض الترسيب :

خواص كثيرة للمياه والمواد العالقة تؤثر على كفاءة الترسيب بما في ذلك درجة الحرارة وكثافة المواد العالقة وحجم وشكل هذه الأجسام وقد ثبت ان درجة حرارة الماء ذات تأثير كبير على عملية الترسيب اكثر من الكثافة النوعية. ذلك لان سرعة الترسيب تزداد بانخفاض اللزوجة حيث تنخفض لزوجة الماء مع ارتفاع درجة الحرارة. لذلك يلزم أن يتم التصميم مع الأخذ في الاعتبار أدنى درجة حرارة للمياه الباردة عن الدافئة كما يلاحظ على الجانب الآخر انه كلما ارتفعت درجة حرارة المياه الداخلة فإنها تطفو على السطح بما يقلل من زمن الرحلة وعدم كفاءة الترسيب. وسرعة الترسيب للجسم العالق تزداد مع زيادة للكثافة النوعية للأجسام العالقة في المجارى السطحية ذات كثافات مختلفة مثل الرمل ٢,٦٥ و ١,٠٣ للزغبات المتكونة من المواد العضوية والطفلة المحتوية على ٩٥% ماء، من ١,٠٢ إلى ١,١ للزغبات المتكونة من استخدام المرويات بالشبة. أو أملاح الحديد. وهذه القيمة قد تزداد كثيرا في وجود الطفلة المحتوية على الرمال والكثافة النوعية لكريونات الكالسيوم أثناء عملية إزالة العسر تصل الى ١,٢. العكارة على أسطح المياه المحتوية على الطحالب هي نتيجة سقوط أشعة الشمس ونشاط الزغبات الطحلبية نتيجة تفاعلات غازية تسبب ارتفاع زغبات الطحالب على السطح بما يحدث عكارة نهارا ونقاء الماء ليلا وفي مثل هذه الحالات يتم تطيئة سطح أحواض الترسيب.

## ٨- اعتبارات تصميمه : لأحواض الترسيب :

معدل التحميل السطحي للترسيب الاولى ما بين ١٠-٢٤ م<sup>٢</sup>/م<sup>٢</sup> في اليوم  
وللمياه المعالجة بالمرويات يكون ما بين ٢٠ - ٤٠ م<sup>٢</sup>/م<sup>٢</sup> في اليوم

- \* مدة المكث للمياه فى الحوض من ٢-٤ ساعة وتؤكد بالتجارب العملية لـ  
النصف صناعية أو للحالات المعائلة للناجحة.
- \* السرعة الأفقية للمياه ١٥ سم / ق (١٠ متر فى الساعة).
- \* الأحواض المستطيلة لا يزيد طولها عن ٣٠ متر وتكون نسبة الطول إلى  
العرض من ٣ - ٨.
- \* الأحواض المستديرة يفضل ألا يزيد القطر عن ٤٠ متر.
- \* معدل خروج المياه على هدار المخرج لا يزيد عن ٤٥٠ م<sup>٣</sup> / ٢م فى اليوم.
- \* عند استخدام هدارات على شكل حرف V يكون عمقها ٥سم والفواصل بينهما ٨  
- ١٥ سم.
- \* كما يؤثر فى تحديد أسس التصميم نوعية المرشحات وكفاءتها التى تلى أحواض  
الترسيب.
- \* يراعى ألا يقل عدد أحواض الترسيب عن حوضين للمحافظة على استمرار  
الإنتاج فى حالات التوقف للصيانة والإصلاح.

## ٩- أمثلة استرشادية لتصميم أحواض الترسيب :

### أ- المثال الأول :

مدينة تعدادها المستقبلى ١٠٠,٠٠٠ نسمة، متوسط استهلاك الفرد فى اليوم  
١٠٠ لتر وأقصى استهلاك للفرد فى اليوم ١٢٠ لتر. بفرض التحميل السطحي  
٣م<sup>٣</sup> / م<sup>٢</sup> / اليوم طبقا لحالات مماثلة.

∴ التصريف اليومى للمحطة = ١٠٠,٠٠٠ × ١٢٠ / ١٠٠٠ = ١٢٠٠٠ م<sup>٣</sup> / اليوم  
= ٥٠٠ م<sup>٣</sup> / الساعة.

المساحة السطحية لأحواض الترسيب = ١٢٠٠٠ / ٣٠ = ٤٠٠ متر م<sup>٢</sup>.

بفرض طول الحوض ٢٠ متر وعرضه ٥ متر

∴ عدد الأحواض = ٤

بفرض مدة البقاء فى الحوض ٣ ساعات يكون حجم الاحواض =  $3 \times 400 = 1200 \text{ م}^3$   
 عمق الحوض = الحجم (١٢٠٠) / المساحة (٤٠٠) = ٣ متر وفى هذه الحالة يلزم  
 إنشاء خمسة أحواض لتوفير حوض زيادة لمواجهة مشاكل الصيانة والإصلاح.  
 ولحساب طاقة الحوض فى احتواء الرواسب.  
 على أساس معدل للتدفق  $500 \text{ م}^3 / \text{الساعة}$  لكل حوض  $120 \text{ م}^3 / \text{الساعة}$ .  
 السرعة الأفقية للمياه فى الحوض =  $120 / 3 \times 5 = 8,3 \text{ متر / الساعة}$   
 $= 8,3 \times 100 / 60 = 13,9 \text{ سم / ق أى ان سرعة المياه فى حدود التصميم}$ .  
 ويفرض ان المياه تحتوى على مواد عاتقة ١٠٠ ملليجرام / لتر وان نسبة الإزالة  
 بالترسيب ٩٠% عندئذ فان كمية المواد المحتجزة فى حوض الترسيب هى ٩٠  
 ملليجرام لكل متر مكعب من المياه.  
 مع تحميل سطحى  $30 \text{ م}^3 / \text{م}^2$  فى اليوم =  $1,25 \text{ م}^3$  فى الساعة وهذا يعنى تراكم  $1,25$   
 $= 90 \times 112,5 \text{ جرام / م}^3 / \text{الساعة}$ .

اى ان الروبة المحتوية على مواد جافة ٣% تعادل  $112,5 / 0,03 = 3750 \text{ سم}^3 / \text{م}^2$   
 ساعة تقريبا أى سمك  $0,34 \text{ سم}$  فى الساعة وعند نهاية الميول  
 فى قاع الحوض فان الرواسب تتراكم بسرعة تصل إلى حوالى  $0,5 \text{ سم}$  فى الساعة.  
 والتراكمات بسمك  $0,5 \text{ متر}$  تتطلب  $0,5 \times 24 \times \text{ساعة} \times 4 \text{ يوم} = 48 \text{ متر}$   
 أو  $0,5 \times 100 \text{ ساعة} = 0,5 \text{ متر}$  أى أنه يلزم أربع أيام أو ١٠٠ ساعة بين فترات  
 للنظافة اليدوية فى حالة استخدامها.

### ب- المثال الثانى:

تجمع سكنى احتياجاته من مياه للشرب  $10 \times 9$  لتر فى اليوم. حجم حوض  
 الترسيب المناسب مزود بإزالة ميكانيكية للروبة . يفترض أن سرعة التدفق فى  
 حوض الترسيب هى  $22 \text{ سم}$  / للثيقة وأن زمن المكث ٨ ساعة.

### الحل :

كمية المياه اللازمة فى ٨ ساعات =  $10 \times 9 \times 24 / 8 = 3000 \text{ متر مكعب}$  أى أن  
 طاقة حوض الترسيب هى  $3000 \text{ متر مكعب}$ .

∴ طول الحوض بالمتر = سرعة المياه بالساعة × زمن المكث بالساعة.

سرعة المياه في الحوض ٢٢ سم / ق = ٠,٢٢ متر في الدقيقة.

طول الحوض = سرعة التدفق × زمن المكث =  $٠.٢٢ \times (٦٠ \times ٨) = ١٠٥,٦ = ١٠٦$  متر.

مساحة مقطع الحوض = سعت الحوض / طول الحوض =  $٣٠٠٠ / ١٠٦ = ٢٨,٣$  متر مربع.

بفرض عمق الحوض ٣,٥ متر فإن عرض الحوض =  $٢٨,٣ / ٣,٥ = ٨,١$  متر.

وبفرض عمق إضافي ٠,٥ متر.

∴ العمق الكلي للحوض ٤ متر.

∴ أبعاد الحوض هي  $١٠٦ \times ٨,١ \times ٤$  متر.

يمكن تقسيم الطول إلى جزئين أو ثلاثة طبقاً لشكل المساحة المتاحة من الأرض.

ج- المثال الثالث :

صمم حوض ترسيب دائري مجهز ميكانيكياً لإزالة الروبة ويطاقة إنتاجية  $١٠ \times ٤,٢$  مليون لتر في اليوم. زمن المكث في الحوض ٤,٥ ساعة وبفرض عمق الحوض ٣,٣ متر.

الحل :

كمية المياه في حوض الترسيب عند زمن مكث ٤,٥ ساعة =  $١٠ \times ٤,٢ \times ٤,٥ = ٢٤٠$  متر مكعب

∴ سعت حوض الترسيب (٣٧٩٠) = مسطح الحوض × عمق الحوض (٣,٣ متر).

∴ مسطح للحوض =  $٣٧٩٠ / ٣,٣ = ١١٤٧,٢٧$  م<sup>٢</sup> تقريباً =  $١١٤٧,٢٧ \times ٣,١٤ = ٣٦٢٩$  م<sup>٢</sup> تقريباً.

∴ نق =  $\sqrt{\frac{٢٣٩}{٣,١٤}} = ٨,٤٣$  متر.

∴ قطر الحوض حوالي ١٧ متر.

وبفرض ٠,٢ متر إضافي.

∴ إذا حجم حوض الترسيب هو: القطر ١٧ متر والعمق ٣,٥ متر .

## د- المثال الرابع :

إذا كان حجم الحوض المستطيل لتنقية المياه بمعدل  $2,5 \times 10^6$  لتر في اليوم هو  $17,5 \times 0,5 \times 3,5$ .

وبفرض الأجسام العالقة ٨٠ جزء في المليون بكتافة نوعية (٢). حدد الآتي:

. معدل تنفق المياه خلال حوض الترسيب.

. ترسيب الروبة في الحوض.

. معدل سحب المياه .

الحل :

معدل التنفق :

بفرض ٠,٥ متر هو العمق الإضافي

∴ أبعاد الحوض هي  $3 \times 0,5 \times 17,5 = 288,75$  متر مكعب .

كمية المياه التي تتنفق خلال الحوض  $= 2,5 \times 10^6 / 24 \times 10^4,1 = 10,4,1$  م<sup>٣</sup> في الساعة.

معدل تنفق المياه خلال الحوض = للتصرف / مساحة المقطع  $= 3 \times 0,5 / 10,4,1 =$

$6,3$  متر في الساعة  $= 6,3 \times 60 / 100 = 10,5$  سم / ق.

زمن المكث = سعت الحوض / للتصرف  $= 10,4,1 / 288,75 = 2,774$  ساعة.

. لتعيين كمية المواد الصلبة العالقة.

المواد الصلبة العالقة  $= 2,5 \times 10^6 / 80 \times 10^4,1 = 200$  لتر بالتقريب ٢٠٠ كيلو جرام في اليوم تقريباً

وزن المواد الصلبة بنسبة إزالة ٧٥%  $= 200 \times 0,75 \times 10^3$  (للكثافة)  $= 0,3$  طن في اليوم.

التحميل المسطح  $= 10,4,1$  (لتر في الساعة)  $= 0,5 \times 17,5 = 0,81,56$  لتر في الساعة / المتر المربع.

هـ- المثال الخامس :

مدينة احتياجاتها اليومية  $10 \times 40$  لتر. زمن المكث في حوض الترسيب ١ ساعة. سرعة التدفق ٢٠ سم/ث. حجم حوض ترسيب بحوائط إعاقلة. يفترض أى بيانات غير معطاة.

الحل :

كمية المياه التى تعالج فى ١ ساعة (زمن المكث) =  $10 \times 40 = 400$  /  $24 \times 10 = 1666,7$  م<sup>٣</sup> فى اليوم .

.. سرعة التدفق ٢٠ سم/ث .

∴ طول الحوض = السرعة × زمن المكث =  $20 \times 60 = 1200$  متر .

مساحة مقطع الحوض = طاقة الحوض / طول الحوض =  $400 / 1666,7 = 0,24$

متر مربع ~  $0,24$  م<sup>٢</sup> . بفرض المسافة بين حوائط الإعاقلة ٥٠ سم

∴ عمق المياه فى الحوض = مساحة مقطع الحوض / المسافة بين حوائط الإعاقلة =

$0,24 / 0,5 = 0,48$  متر

∴ اتساع الفتحة ما بين حوائط الإعاقلة والجدار الخارجى للحوض تقدر بمرة ونصف

المسافة بين حوائط الإعاقلة =  $0,5 \times 1,5 = 0,75$  متر .

وبعرض حوض الترسيب نو حارتين عرض كل منهما ١٥ متر صافى شكل (٢٣).

∴ الطول المؤثر لكل حارة = صافى العرض للحارة  $20 \times$  اتساع الفتحة بين حوائط

الإعاقلة والجدار الخارجى للحوض =  $15 - 0,75 \times 2 = 13,5$  متر .

∴ عدد القنوات اللازمة = طول التدفق الكلى / الطول المؤثر لكل قناة =  $13,5 / 0,75 = 18$

حوالى ٥٤ قناة

∴ عدد القنوات فى كل حارة =  $18 / 2 = 9$  م

وبفرض سمك حائط الإعاقلة ١٠ سم .

∴ طول حوض الترسيب نو الحارتين =  $15 \times 2 + 0,1 \times (1 - 27) = 23$  متر.

=  $15 \times 2 + 0,1 \times (1 - 27)$  متر

طول مدخل ومخرج المياه (٣ متر لكل) = ٢٣ متر.

## القسم الثالث

### الترسيب بالأسطح المائلة والترويق بالأجسام الصلبة العالقة

#### ١- أحواض الترسيب ذات الأسطح المائلة أو الأنبوبية المائلة أشكال (Tilted Plate And Tube Settler) (٥٣- ٤٦)

إذا كانت كفاءة الترسيب مسترداد في حالة توفير قاع (سطح) إضافي لحوض الترسيب (بند ٣ قسم ٢)، فإنه يمكن زيادة هذه الكفاءة باستخدام عدة ألواح بفواصل صغيرة بينها كما هو موضح الشكل (٤٦- ٤٧) ولكن يصعب الإزالة لليدوية للرواسب وأن كان يمكن إزالتها باستخدام نافورة من المياه إلا أنه يفضل استخدام الأسطح ذات التنظيف الذاتي حيث يكون الميل لهذه الأسطح بزاوية ٥٠-٦٠° على المستوى الأفقي. الشكل (٤٦، ٤٧، ٤٨) يوضح مقطع طولي لحوض بالأسطح المائلة المتعددة. وفي حالة الترسيب لترويق المياه فإن أحواض الترسيب ذات الأسطح المائلة تتصف بالطاقة العالية مع الحجم الصغير يمكن حساب التحميل السطحي كالآتي:

$$S = Q/NA$$

حيث  $S$  = التحميل السطحي م<sup>٣</sup>/م<sup>٢</sup>/الساعة

$$Q = \text{معدل التدفق م}^٣/\text{الساعة}$$

$$A = \text{مساحة قاع الحوض م}^٢$$

$$N = \text{معامل يتوقف على نوع ووضع الأسطح المائلة}$$

وعند دخول المياه من قاع حوض الترسيب فإنها تتدفق لأعلى خلال الأسطح المائلة ثم تتجميع المياه للرافقة في أحواض التجميع شكل (٤٩). ومع مرور المياه خلال الأسطح المائلة ترسب المواد العالقة على الأسطح السفلى. ويمكن لجسم عالق أن يدخل القنوات بين الأسطح عدة مرات قبل أن يكبر حجمه ويزداد وزنه ليرسب في القاع. شكل (٤٩). بفرض أن الارتفاع الراسي للألواح  $h = ١,٥$  متر والفصل بين الألواح  $(W) = ٠,٥$  متر وزاوية الميل للألواح بالنسبة للمستوى الأفقى  $٥٥^\circ$  درجه. وأن المعامل  $(N)$  في حالة استخدام الألواح الأسبستوس  $= ١٦$ . في هذه الحالة فإن الرواسب لوحدة المساحة للقاع ستزداد إلى ١٦ ضعف والتي يمكن أن تزال بالأحواض ذات القاع القعمى مع ميل أجنابها  $٥٥^\circ$  درجة على المستوى الأفقى.

وبدلاً من الأسطح المائلة قد تستخدم الأنابيب المتلاصقة المصنوعة من مادة بى فى سى. القطر الداخلى لهذه الأنابيب ما بين ٣-٥ سم والميل على المستوى الأفقى  $٦٠^\circ$  درجة. وفي حالة الأنابيب بقطر ٥ سم وسرعة سقوط المواد العالقة  $٢,٥$  سم / الدقيقة فإن الجسم العالق يستغرق دقيقتين فقط للرسوب إلى القاع بينما يستغرق ١٢٠ دقيقة للوصول إلى قاع حوض ترسيب بعمق ٣ متر.

وقد صنعت نماذج (Modules) وحدات ترسيب جاهزة للتشغيل بعرض ٧٦ سم وطول ٣ متر وعمق ٥٤ سم وزاوية الميل على المستوى الأفقى  $٦٠^\circ$  درجة. ولأن الأنابيب بزاوية  $٦٠^\circ$  درجة فإن الطول المؤثر للمواسير ٦١ سم. يمكن صنع هذه الوحدات من الأسطح المستوية من مادة البلاستيك (ABS) مع تشكيل الممرات من شرائط من مادة بى فى سى. وهذا الممرات تحمل بشكل متقاطع لتقوية الوحدة (النموذج) حيث يمكن تحميله فقط عند النهايات. ولكونه من مادة البلاستيك فإنه يمكن تشنبيهه ليناسب الفراغ المتاح في حوض الترسيب. نظراً لأن سطح الترسيب المؤثر كبير جداً فإن التحميل السطحى يكون منخفض جداً، ولتوضيح ذلك فعند معدل تدفق  $٢٠$  م<sup>٣</sup> في الساعة وعند استخدام ٢٠ صف من الأنابيب فإن التحميل السطحى سوف يقل إلى  $١$  م<sup>٣</sup> / م<sup>٢</sup> / الساعة وزمن المكث للمياه في كل أنبوبة سوف يكون دقائق قليلة. عندما يتوفر العمق المناسب في حوض الترسيب يمكن زيادة



الكفاءة والطاقة لأداء الحوض باستخدام الألواح المائلة أو لأنابيب المائلة بحيث لا يقل عمق الحوض عن ٢ متر. وفي هذه الحالة يلزم مراعاة أن كميات الروبة المرسبة ستزداد مما يتطلب توفير إمكانيات إضافية لإزالتها، وكذلك مراجعة الأقطار للمواسير والهدارات للدخول والخروج للمياه لمواجهة الزيادة في التحميل السطحي. وفي حالة الأنابيب المائلة فإنها تقام على مساحة ٦٠-٧٥% من مساحة السطحية للحوض بما يوفر مساحة سطحية مناسبة في منطقة دخول المياه إلى الحوض لترسيب المواد سريعة الترسيب ولتنظيم التدفق قبل الترويق خلال وحدة الأنابيب المائلة شكل (٤٨).

الأنظمة المائلة للترسيب تستخدم ثلاث صور لاتجاه التدفق بالنسبة لاتجاه ترسيب المواد العالقة وهي :

شكل (٥١)

الترسيب بالاتجاه المعاكس : Counter Current Settling

الترسيب بالاتجاه الموازي : Cocurrent Settling

الترسيب بالاتجاه المتقاطع : Cross Current Settling

١- الترسيب بالاتجاه المعاكس : (٥١-١)

وفي هذا النظام تدخل المياه المروية من النهاية السفلى وتتدفق لأعلى خلال القنوات ذات الأسطح المائلة فترسب المواد العالقة على السطح السفلي في كل قناة. إذا كانت زوايا الميل كبيرة فإن الأجسام الصلبة تتحرك إلى أسفل السطح في اتجاه معاكس لتدفق المياه وإلا يحدث اضطراب للتدفق مما يتطلب التنظيف من أن إلى آخر. وقد استخدم للترسيب بالاتجاه المعاكس باستخدام الأنابيب المائلة وتم تصميم نماذج مختلفة للأنابيب المائلة (Tube Module) كما في الشكل (٥٠). وهذه تشمل الأنابيب المربعة بين أسطح راسية وللتغير في اتجاه الميل بين أسطح متجاورة راسية، والأنابيب الراسية. ويستخدم نظام الترسيب بالاتجاه المعاكس في أحواض المروقات ذات التدفق الأفقي وكذلك في بعض المروقات ذات الالتصاق

الباب الثالث: طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة  
بالاجسام الصلبة (Solids Contact Clarifiers) بهدف تحسين ورفع الكفاءة،  
بالإضافة الى العمل كموائق التي تحسن من انتظام التدفق.

#### ب- بالتروسيب بالاتجاه الموازى : شكل (٥١-ب)

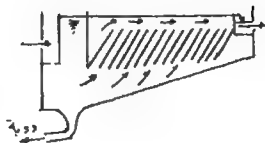
فى هذا النظام فإن المياه تدخل من النهاية العلوية للأسطح العلوية المائلة حيث  
تندفق الى أسفل خلال القنوات. للمواد المترسبة على الأسطح السفلى تتحرك فى  
نفس الاتجاه للمياه فوقها. وفى هذا النظام يلزم العناية بجمع المياه من النهاية السفلى  
للسطح العلوى لكل قناة وذلك لمنع إعادة تعليق المواد المترسبة (Resuspension)  
ويستفاد بهذا النظام فى التخلص من المواد الطافية والعالقة عند معالجة مياه  
الصرف.

#### ج- التروسيب بالاتجاه المتقاطع : شكل (٥١-ج)

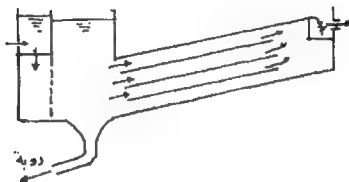
فى هذا النظام تدخل المياه لتندفق أفقيا بين الأسطح المائلة حيث تتحرك المواد  
المترسبة إلى أسفل. وفى هذا النظام فإن إعادة تعليق المواد المترسبة عادة أقل من  
التروسيب بالاتجاه المعاكس أو الموازى. كما أن التخير فى الميل يوفر الاستفادة  
بحجم الحوض وكذلك سلامة وثبات الإنشاء لنموذج الأنبابيب.

#### د- مروق الأسطح المائلة لا ميلا : شكل (٥٢) : Lamella Tilted Plate Clarifier

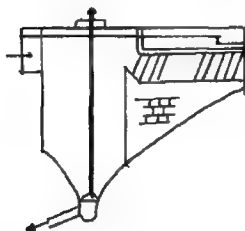
زاد استخدام مروق الأسطح المائلة فى تنقية المياه. ويشمل عددا من الألواح  
للمائلة بزواوية من ٤٥-٦٠ درجة بالنسبة للمستوى الافقى. وتستخدم فى هذا النظام  
طرق مختلفة لدخول المياه لتمكن دخول المياه لكل قناة مائلة.



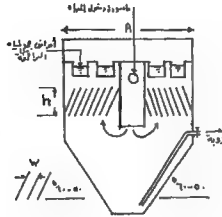
شكل (٤٦) حوض ترسيب بالأسطح المائلة



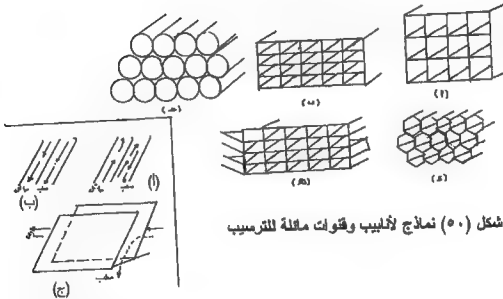
شكل (٤٧) حوض ترسيب متعدد الأسطح



شكل (٤٨) حوض ترسيب بالواح لمبستون مائلة



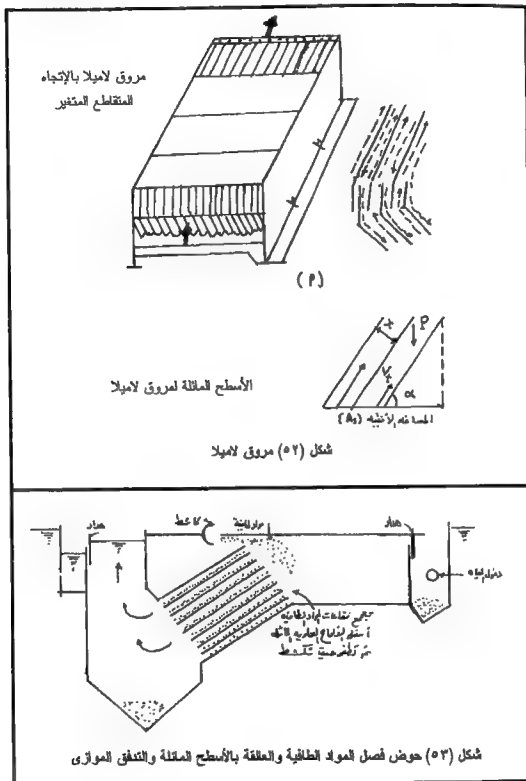
شكل (٤٩) بيئات للتصميم لحوض الترسيب بالأسطح المائلة



شكل (٥٠) نماذج لأشكال وقنوات مائلة للترسيب

- أ- تدفق معاكس
- ب- تدفق مواز
- ج- تدفق منقطع

شكل (٥١) نظم الترسيب المائل



عند ثلث ارتفاعها عن القاع. والنتيجة أن ترسب المواد العالقة فى مسافة قصيرة فى كل قناة وأن تنزل إلى منطقة جمع للرواسب أسفل الأنواح. المياه المروية تمر فى الاتجاه المعاكس أسفل سقف كل قناة إلى وصلة تجمع المياه الراجعة.

المساحة المحققة نظريا لفصل المواد العالقة تملأى مجموع إسقاط الأسطح (الأنواح) أو القنوات على المستوى الأفقى ويوضح شكل (٥١) أن الإسقاط الأفقى لقناة واحدة لمروب، حيث المساحة الأفقية (A)، للمسافة بين السطحين مقاسه عموديا x. فان المروق سوف يحتوى على عدد من القنوات  $= \frac{\sin \alpha}{x}$  لكل وحدة طول. الزاوية  $\alpha$  المناسبة هى ٥٥-٦٠ درجة لتسمح بالسقوط للمواد العالقة، كما أن الفاصل بين الأنواح يلزم أن يكون كبيرا بما يسمح بالتدفق المعاكس للسائل والمواد الصلبة المترسبة فى قاع السطح السفلى وهذه المسافة تتراوح ما بين ٥-٧.٥ سم.

توجد أنواع مختلفة من النماذج ولكن الاختلاف الرئيسى بينها هو طريقة توزيع المياه الداخلة إلى الوحدة. وطاقة التشغيل تتراوح ما بين ١ - ٣ م<sup>٣</sup>/م<sup>٢</sup> / الساعة من المساحة السطحية الأفقية، الطول المائل من ١-٣ متر. الميزة الرئيسية للمروق الذى يعمل بالأسطح المائلة هى زيادة طاقة التحميل السطحى لكل متر مربع من المساحة الأفقية. ولكن العيوب الرئيسية هى التغير فى تركيز المواد الصلبة المتدفقة لأسفل والذى يقل عن المروقات التى تعمل بالجانبيه وكذلك صعوبة التنظيف والتسليك عند حدوث انسداد. وعند استخدام المرويات فإنه يلزم توفير معدلات وأحواض الترغيب قبل الفصل نظرا لأن الشكل الهندسى لأحواض الفصل لا يسمح بالترغيب.

وتمثل هذه الأحواض ميزة كبيرة فى حالة ارتفاع أسعار الأراضي. ومشاكل أحواض الترسيب المائلة هى الإنشاء للأسطح الغير محملة، إزالة الرواسب، الصيانة للأجزاء الميكانيكية المضغوطة كما تستخدم الأسطح المائلة فى إزالة المواد الطافية والعالقة شكل (٥٣).

## ٣- المروقات ذات طبقة الزغبات (الروبة) العالقة Floc Blanket Clarifiers :

### أ- نظرية عمل طبقة الزغبات العالقة (السباحة) Fluidized Bed

عند مرور سائل إلى أعلى خلال طبقة سباحة وثابتة ومتجانسة من الزغبات بمعدل تنفق منخفض، فإن شكل التدفق يشابه ذلك عندما يكون إلى أسفل خلال الطبقة، عندما تزداد سرعة التدفق إلى أعلى بدرجة كافية بما يسبب قوة سحب (Drag Force) على الزغبات مساوية للوزن الظاهري (الوزن الحقيقي ناقص الطفو) للأجسام. عندئذ فإن هذه الأجسام العالقة (الزغبات) توفر مقاومة أقل للتدفق وكذلك حدوث تمدد لطبقة الزغبات (الروبة) وتستمر هذه العملية مع زيادة سرعة السائل حتى تصل الطبقة إلى أدنى حالة من التجميع أو التراكم. وعند زيادة أكثر لمرعة السائل لأعلى تنفكك عن بعضها وتصبح محملة بحرية على السائل (سباحة). عندئذ يقال أن هذه الطبقة من الزغبات (الروبة) هى طبقة سباحة (Fluidized Bed). حيث لا تتحرك الأجسام العالقة وتظل عالقة بواسطة التدفق المساعد للسائل.

للمروقات التى تعمل بطبقة الزغبات السباحة أشكال (٥٤، ٥٦، ٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٠، ٦١، ٦٢) لها حوائط راسية متوازية وقاعدة مستوية أو قمعية. فى هذه المروقات فإن المياه المخططة بالمروب يتم تغذيتها من أسفل إلى قاعدة المروق. والتدفق الناتج المنتشر إلى أعلى يسبب حدوث الترغيب (Flocculation)، وتظل

الأجسام من الزغبات الكبيرة عالقة في الحوض. الزغبات العالقة تتراكم ببطء، أولاً ثم تزداد إلى أقصى معدل للتراكم والتجميع والذي يحده التنفق الصاعد للمياه وخصائص الزغبات العالقة. وعند الوصول إلى هذا الحد يمكن القول بوجود طبقة من الزغبات (Floc Blanket) تشغل حيزاً من هذه المواد العالقة حيث يزداد حجمها ويرتفع سطحها العلوى. يمكن التحكم في مستوى سطح هذه الطبقة بإزالة المواد الصلبة العالقة (الروبة) من هذه الطبقة للمحافظة على منطقة مياه رافقة ما بين الطبقة (أعلى الطبقة) وأحواض تصريف المياه الرافقة أو الهدارات.

وتتم عملية الترويق فوق وأعلى الطبقة في شكل ترسيب، حجز، تنقية وعمليات فإن زمن احتجاز المياه في طبقة الروبة السابحة يزيد عن الزمن اللازم لنمو الزغبات. وهذه العملية تشبه عملية للحجز السطحي للمرشحات العميقة حيث يتم الحجز بالتزغيب وجميع الزغبات، ولكن الاحتمال الأكثر هو حجز المصفاة (Straining) حيث الأجسام العالقة الصغيرة الصاعدة لا تتمكن من المرور خلال المسام بين الأجسام الكبيرة والتي تتكون منها معظم الطبقة السابحة. وتتأثر كفاءة الحجز بالفواصل بين الزغبات الكبيرة والتي ترتبط بنسوع الزغبات وسرعة المسائل. ولتحقيق حالة عدم رسوب الأجسام العالقة. (Hindered Settling) والتجميع المسامي السايح (Fluidized Bed) لطبقة الزغبات السابحة فإن ذلك يرتبط بالعلاقة بين سرعة التنفق الصاعد للماء وتركيز الزغبات. ذلك لأن نوعية المياه الرافقة تتلف بسرعة عندما يقل تركيز الزغبات في الطبقة السابحة وإن زاد التركيز كثيراً فإن الفواصل بين الزغبات تكون صغيرة لحجز الزغبات الصاعدة وبالتالي يكون التحسن بطيء في نوعية المياه الرافقة.

ولذلك في حالة الترسيب باستخدام طبقة الزغبات (الروبة) السابحة الواضحة والمحددة فإن ذلك يتطلب أن تكون السرعة للتدفقات للماء حوالي نصف أقصى معدل للترسيب (يحدث مظهر غليان خفيف عند سرعة  $V \times 0.5$ )، وبمعنى آخر



هى نصف مسافة رسوب الأجسام العالقة ( $h/2$ ) والذي يقدر بحوالى ١٦-٢٠% من حجم الحوض فى حالة استخدام التثبي كمرسب و ٢٥-٣٠% عند استخدام البولى إيكتروليت من مساعدات الترويب.

### ب- المروقات بنظام الأجسام الصلبة الملتصقة : شكل (٥٤، ٥٨، ٥٩) Solid Contact Clarifiers

مروق الأجسام الصلبة الملتصقة يكون عادة فى الشكل الدائرى وأحياناً فى الشكل المربع. ويشمل كل عمليات المرحلة الأولى لتتقية المياه، الخلط السريع، الخلط البطئ، للتزغيب، تدوير المواد الصلبة، كسح الروبة. وهذه المروقات تعمل لترسيب المواد العالقة بالتدفق العلوى.

فى هذا النظام يتم التغذية بالمياه العكرة الى منطقة للخلط السريع وهى داخل غطاء والذي يشكل الحائط الداخلى لمنطقة الترسيب. يتم التغذية بالكيمائيات فى منطقة الخلط السريع، ثم تتدفق المياه من منطقة للخلط السريع أسفل الحائط الى قاع منطقة الترسيب. وفى نظام إعادة للتدوير والخلط الأولى السريع فإن المياه تسحب من أعلى منطقة الخلط الأولى وتصب فى وسط منطقة الترسيب. نظام إعادة التدوير يمكن من تدفق المياه الغير معالجة (العكرة) إلى الحوض وأن التدفق الزائد فى منطقة الترسيب يسحب لأسفل الحائط ثانياً إلى منطقة الخلط الأولى، وهذه الحركة إعادة تدوير المواد الصلبة تساعد على للتزغيب فى منطقة الخلط الأولى ترغيب العكارة حيث يزداد حجم التزغيبات بالتصاقها (Solids Contact). تزال الروبة من خلال محبس إلى مزود بجهاز ميقاى (Timer). يمكن تحديد كمية المياه الدائرة فى العملية افتراضياً (Emperical) والتحكم فيها.

تصمم للمروقات ذات الأجسام الصلبة الملتصقة بطريقتين، الأولى وهى التصاق الطبقة (Blanket Contact)، حيث التدفقات الصاعدة يتم ترشيحها خلال طبقة الزغبات، والتي تتمدد بانتظام لمساحة كبيرة معامية كافية تسمح فقط بالمياه

الرائقة بالمرور. والطريقة الثانية تشمل التحكم فى حجم التدوير للمواد الصلبة لمنطقة الخلط السريع بما يسمح بالتصاق الأجسام العالقة فى منطقة الخلط السريع والتزغيب ومن الناحية العملية فإن النوع الثانى الذى يعمل بتدوير المواد الصلبة هو المستخدم شكل (٥٦، ٥٨). فى وحدة التصاق المواد الصلبة حيث التصميم بالتدفق لأعلى يتطلب توفير الزمن الحقيقى للترغيب والتحكم فى التدوير وصرف الروبة بما يحقق كفاءة تنقية عالية. يعتبر نظام التنقية بنظام المواد الصلبة الملتصقة مثالى فى عمليات إزالة العسر بالجير (Lime Softening). ويمكن اعتبار أن كلا النوعين من أحواض التصاق المواد الصلبة من المروقات ذات طبقة الزغبات وذلك فى حالة إمكان عمل طبقة من الزغبات ثابتة وواضحة ومستمرة فى منطقة الترسيب. وعادة فإن حجم وتركيز المواد الصلبة فى التدوير فى أحواض الالتصاق ليس كبيراً مثل المطلوب لاستمرار الطبقة.

#### ج- المروقات القمعية ذات طبقة الزغبات العالقة : شكل (٦١)

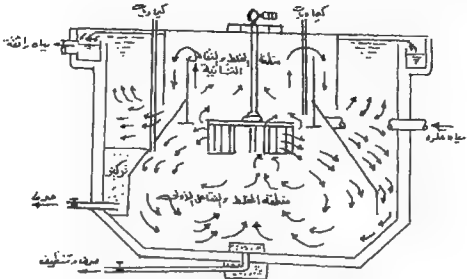
فى أول تصميم لأحواض طبقة الزغبات العالقة كان لها قاع قمعى واحد مربع أو مستدير المقطع. فى هذه الوحدات فإن المياه المختلطة بالمروب يتم تغذيتها من أسفل قاع القمع. يساعد شكل القمع المتسع على سهولة توزيع التدفق من نقطة واحدة فى المنخل الى تدفق صاعد لمساحة كبيرة. التدفق العلوى المتسع يسمح بحدوث نمو للزغبات واستمرار الجسيمات الكبيرة عالقة وتكوين طبقة من الزغبات. فقد فى الضغط خلال طبقة الزغبات رغم صغره فإنه يساعد على تجانس التدفق لأعلى. يشغل القمع الواحد أو الشكل الهرمى حوالى ٣٣% من المساحة المتبصرة هذا لى للتكاليف العالية فى الإنشاء وقيود الإنشاء. ولهذا فقد تم تطوير أشكال بديلة لأحواض القمعية مع المحافظة على الميزة الهيدروليكية للأقماع. وهذا يشمل أحواض متعددة الأقماع وحوايط وأحواض تجميع وتجهيز للخلط المبكك السريع ومع زيادة عمق طبقة الزغبات فإن نوعية المياه الرائقة أعلا

الطبقة تتحسن ولكن مع زيادة هذا العمق عن حد معين يقل تحسن نوعية المياه الرائقة.

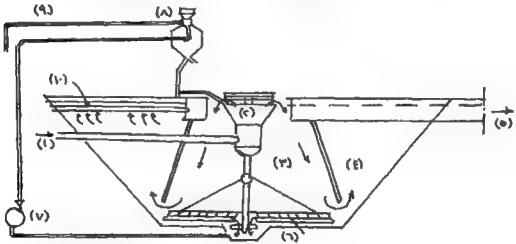
عمق طبقة الزغبات دليل على كمية المواد الصلبة العالقة. العمق المؤثر (السك المؤثر) يعرف بالحجم الكلي للطبقة مقسوما على مساحة سطحها العلوى الملامس للمياه الرائقة. العمق المؤثر للقمع هو تقريبا ثلث القمع. لهذا فلن الأحواض ذات القاع المستوى عمقها الحقيقي أقل كثيرا من الأحواض القمعية ذات نفس العمق المؤثر. العمق للمؤثر للطبقة حوالى ٢-٣ متر. كمية الأجسام الصلبة العالقة والتي تقدر بعمق طبقة الزغبات وتركيزها تؤثر على الكفاءة لتأثيرها على عملية الترغيب، وكذلك فإن الفقد في الضغط يساعد على توزيع التدفق، بما يعنى زيادة سمك الطبقة وثباتها. طبقة الزغبات الثابتة جدا يمكن أن تعمل وتوفر مياه رائحة (Supernatant) بعمق أقل من ٣٠ سم وبدون تسرب للزغبات إلى أعلا (Carry Over) أو إعادة تعلق ملموسة. وعمليا فلن هذا يتوقف على الفواصل بين الهدارات والاضطرابات الناتجة عن حركة الرياح. في الأحواض حيث الطبقة ذات السطح الغير مستقر تميل إلى مظهر الغليان الغير مستقر مع ضعف إمكانية التحكم في السطح ولهذا فلن طبقة المياه الرائقة فوق سطح الزغبات يجب إلا يقل عمقها عن ١ متر لتقليل سحب الزغبات وخاصة في حالة زيادة سرعة التدفق لأعلى. وعادة فلن طبقة المياه الرائعة فوق سطح الزغبات تكون ٢ متر وإن كان هذا ليس بالضرورة في حالة التحكم الجيد في منسوب طبقة الزغبات. يمكن بسهولة التحكم في منسوب طبقة الزغبات باستخدام هدار للروية أو أقماع أعتاب موضوعة على منسوب عالي نسبيا. يمكن تفريغ أقماع للروية من أن السى آخر بواسطة محابس موقوتة أليا شكل رقم (٦١). كما يجب ان تكون أقماع الروية من ناحية حجمها وتوزيعها بما يوفر الإزالة الجيدة للروية. ولن تكون كذلك كبيرة لتحقيق التكتيف الأولي في حالة المعدل العالي لسحب للروية، ويحدث هذا عند زيادة معدل التدفق وزيادة الجرعات للكيماوية.







شكل (٥٩) المروقي المعجل - يعمل بالمواد الصلبة الملتصقة - حيز الترسيب داخل حيز للترسيب (Accelerator Solids Contact Clarifier)



- |  |   |
|--|---|
| (١) دخول المياه                                | (٢) مدخل قسعي لرمال الروبة لنافعة المعادة |
| (٣) منطقة التفاعل                              | (٤) منطقة للترويق                         |
| (٥) مخرج المياه الرقيقة                        | (٦) قسائية كسح الروبة                     |
| (٧) طلمية تجمع الروبة والرمال الناعمة وتكويرها | (٨) خزان تجمع الروبة والرمال الناعمة      |
| (٩) صرف الروبة                                 | (١٠) حوض تجمع المياه                      |

شكل (٦٠) الترويق بنظام تكوير الزغيجات (Cyclo-floc Clarification System)



## \* مثال :

لتحديد للمساحة اللازمة لإزالة الزغبات العالقة ( الروية ) بهدف التحكم في منسوب طبقة الزغبات في حوض الترويق الذي يعمل بطبقة الزغبات العالقة. بفرض:

|     |     |      |      |     |      |     |                               |
|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-------------------------------|
| ٤,٧ | ٤,٢ | ٣,٦٥ | ٣,٠٥ | ٢,٥ | ١,٩٥ | ١,٦ | معدل التدفق الأعلى متر/الساعة |
| ٤,٥ | ٣,٦ | ٣,١  | ٢,٦  | ٢,٣ | ٢,٠  | ١,٩ | نسبة المساحة المطلوبة %       |

وتتوقف نسبة المساحة المطلوبة طبقا للجرعات المختلفة من الشببة وعمليا المساحة الكبيرة تكون لازمة لمواجهة الحاجة لإزالة للزغبات عند حالات التدفقات العالية المفاجئة ولمدة قصيرة.

## د- مروق طبقة الزغبات العالقة بالقاع المستوي: Flat Bottom Tank

من أجل خفض تكاليف الإنشاء تم التخلي عن الأكماع واستخدام أحواض ذات قاع مستوي. وبذا أمكن توفير تدفق جيد باستخدام مواسير عبر القاع أو الشموع المقلوبة. وإن كان هذا يعيق إنشاء نظام للترسيب المائل شكل (٦٢).

## ٣- عمليات الترويق الخاصة :

## أ- المروق النابض : Pulsator Clarifier شكل (٦٣)

هذا المروق تم تصنيعه وتطويره بواسطة شركة Decrement وهو عبارة عن مروق ذو طبقة زغبات والذي يستخدم نظام موحد للنبيض الهيدروليكي. لإستمرار تجانس طبقة المواد الصلبة في المروق تدخل المياه المروبة كيميائيا أولا غرفة تفريغ مجاورة للمروق لتسحب المياه إلى الغرفة بواسطة طلمبة تفريغ (Vacuum Pump) ويتم التحرر من التفريغ بواسطة تيار هواء والذي يسمح بتدفق الهواء إلى المروق بما يسبب نبض هيدروليكي في المروق. طاقة اللزغيب المكتسبة هي دلالة لزمن النبض وشدة. للمياه المروبة تدخل المروق خلال عدد من مواسير



التوزيع عند قاع المرووق. موالير التوزيع المثبة والتي تعلوها مباشرة عوائق على شكل حرف ٧ المقلوب المثبة تسبب اضطراب والذي يساعد في توزيع التدفق بالتساوي على قاع طبقة الزغبات. مرور المياه لأعلى خلال طبقة الزغبات يوفر التصاق الماء بزغبات متكونة سابقا أي الترغيب بالالتصاق (Contact Flocculation) والذي يحقق ترويق للمياه العكرة القلابة. أثناء التدفق الأولى للمياه في المرووق فإن طبقة الزغبات تعتمد لأعلى أثناء الجزء من دورة النبض (Pulsating Cycle) عندما لا يكون هناك تنفق للماء داخل المرووق فإن طبقة الزغبات ترسب واستمرار النبض يحافظ على استمرار وانتظام طبقة الزغبات في المرووق وبذلك يتوفر الاستمرار للتدفقات خلال المرووق ونتيجة للالتصاق الجيد للتدفقات مع طبقة الزغبات يمكن تحقيق استخدام جيد للمروب وإنتاج مياه رائقة جدا. دورة النبض التقليدية عادة ٤٠-٥٠ ثانية ويتم المحافظة على عمق طبقة الزغبات في منسوب ثابت باستخدام هدار لسحب الروبة. مرووق النبضات مفيد في تنقية المياه قليلة العكارة والملونة (Highly Coloured) وذلك لصعوبة تكوين زغبات سريعة الترسيب. التحميل السطحي للمرووق النابض من ٠,٢٥ الى ١,٩ جالون في الدقيقة / القدم المربع من المساحة السطحية للمرووق وبمتوسط تحميل ٠,٥ جالون في الدقيقة / القدم للمربع تقريبا.

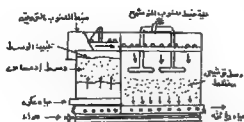
#### ب - المرووق عالي النبضات : شكل (١٤) Super Pulsator Classifier

تم تطوير مرووق النبضات بواسطة الشركة المنتجة إلى المرووق عالي النبضات بطبقة الزغبات يشمل نظام النبض الهيدروليكي لمرووق النبضات مع مجموعة من الأسطح المتوازية المائلة موضوعة في خلال طبقة الزغبات. الأسطح المائلة تساعد في استمرار التركيز العالي للمواد الصلبة مع زيادة معدل الترويق الهيدروليكي لأعلى وهذا يسمح للمرووق عالي النبضات ليعمل بمعدل تحميل أكبر ٢-٣ مرة عن مرووق النبضات. ميل الأسطح ٦٠ درجة على الأفقي والفصل بين الأسطح من ١٢-٢٠ بوصة (٣٠-٥٠ سم) تركيب ريش عاكسة صغيرة على المحور العرضي للأسطح المائلة وفي اتجاه التدفق بين الأسطح. وهذه العواكس توجد دوامة (Vortex) بما يساعد في خلط المواد الصلبة التي رسبت مع المياه الجارية تنقيتها.

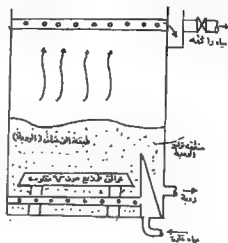
### ج- المروق الثلاثي الذي يعمل بالامتصاص والالتصاق شكل (٦٥)

المروق الثلاثي لتنقية المياه يشمل مراحل الترويب والترسيب والترشيح في وحدة واحدة تعمل بالتدفق العلوي والإمصاص. للوسط المستخدم في الإمصاص يتكون من خرزات من البلاستيك القابل للطفو والتي تحجز في المروق بواسطة شبكة. يصاحب عملية إزالة العكارة إمصاص للزغبات المترتبة على سطح الخرزات البلاستيك وكذلك على الجسيمات الملتصقة بها.

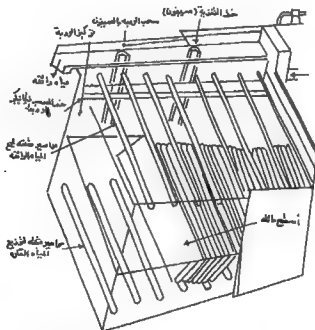
يصمم للمروق الثلاثي لتوفير حمل سطحي حوالي ١٠ جالون / القدم المربع في الدقيقة. الحجم المؤثر لجيبات الوسط الترشيحي (الخرزات) ٤-٦ ملليمتر وعمق الوسط الترشيحي حوالي ٤ قدم.



شكل (٦٥) مقطع في مروق الإمتصاص  
والإتصال الثلاثي



شكل (٦٣) مقطع في مروق النبضات  
(Pulsator)



شكل (٦٤) المروق على النبضات (Super Pulsator)



## الباب الرابع

### **التخلص من المواد العالقة بالترشيح**



## الباب الرابع

# التخلص من المواد الصلبة العالقة بالترشيح

### مقدمة :

فى الترشيح تمر المياه خلال وسط ترشيحى لإزالة الجسيمات العالقة التى لم تزال بالترسيب. توجد أساليب مختلفة للترشيح ومنها بناء طبقة من الزغبات على سطح الوسط الترشيحى والتى تعمل كذلك كوسط ترشيحى والثانى هو تسرب الزغبات فى الوسط الترشيحى حيث تتسرب المياه بما يزيل الجسيمات العالقة. تنقسم المرشحات إلى نوعين رئيسيين وهما المرشحات للبطينة والمرشحات السريعة التى تعمل إما بالجازبيه أو بالضغط. وأى من هذه المرشحات تعمل باستخدامها للوسط الترشيحى الرملى. تستخدم المرشحات البطينة فى التصرفات الصغيرة أما المرشحات الرملية السريعة فهى تستخدم فى المحطات ذات التصرفات الكبيرة.





## القسم الأول

### الترشيح الرملى البطيء

#### Slow Sand Filtration

فى الترشيح الرملى البطيء نستخدم طبقة من الرمال الرفيعة (Fine sand) والتي من خلالها تتسرب المياه ببطئ لأسفل شكل (٦٦). نظرا لصغر حجم الحبيبات فان الفراغات للوسط الترشيحي تكون كذلك صغيرة. تحتجز نسبة كبيرة من المواد العالقة فى السطح العلوى للوسط الترشيحي بسبك من ٠,٥ الى ٢ اسم وهذا يمكن من تنظيف المرشح بكشط الطبقة العليا من الرمال. ونظراً لأن معدل الترشيح يكون قليلاً (٠,١-٠,٣ متر فى الساعة = ٢-٧ م<sup>٣</sup>/م<sup>٢</sup>/اليوم) فان الفترات الزمنية بين عمليات النظافة تكون طويلة وعادة تبلغ عدة شهور. عملية التنظيف للمرشح تستغرق حوالى يوم واحد، ولكن بعد التنظيف فإنه يتطلب ٢-٣ يوم إضافى ليصبح الوسط الترشيحي مؤثر تماماً. الأداء الرئيسى للترشيح الرملى البطيء هو إزالة الكائنات الحية الدقيقة من المياه العكرة، وبالتحديد البكتيريا والفيروسات التي تقوم بنقل الأمراض عن طريق الماء ويقال الى حد كبير من محتواها فى الماء. المرشح الرملى البطيء الذى يعمل بكفاءة يزيل كذلك البروتوزوا (مثل الانتماميا، هستولوتيكا والإسكارس). للترشيح الرملى البطيء عموماً يوفر مياه آمنه بكتريولوجيا كما انه مؤثر جدا فى إزالة المواد العالقة من المياه العكرة ولكن الانسداد فى الوسط الترشيحي قد يكون سريعاً جداً مما يتطلب تنظيف سريع من آن إلى آخر. واستخدام المرشح الرملى البطيء مناسب للمياه العكرة ذات عكارة (٥) بمقياس نيفيلومتري مع اقصى قيمة اقل من ٢٠ وحدة نيفيلومتري لعدة أيام قليلة.

الباب الرابع: تلخيص من المواد العالقة بالترشيح  
وفي غير هذه الحالات فإنه يلزم خفض العكارة في المياه العكرة وذلك باستخدام  
المرويات والترسيب أو الترشيح الرملي السريع وذلك قبل دخول المياه الى المرشح  
البطيء.

المرشحات الرملية البطيئة لها ميزات كثيرة في الدول النامية، حيث يمكن  
الحصول على مياه نقية آمنة صحيا كما يمكن إنشائها من المواد المحلية وباستغلال  
العمالة المحلية وذلك مع الاستغناء عن كثير من المعدات الميكانيكية والكهربائية  
الموجودة في محطات التنقية التي تستخدم المرشحات السريعة. المرشحات الرملية  
البطيئة تشغل حيز من الأرض ولكنها لا تتطلب للترويب أو الكلور. ولكن عند  
ضخ المياه في الشبكة يتم حقن جرعة الكلور.

## ١- نظرية الترشيح الرملي البطيء :

في المرشحات الرملية تزال الملوثات من المياه العكرة خلال عدة عمليات  
مختلفة منها التنقية أو التنقية (Screening) والترسيب والاندصاص والأداء  
البيوكيميائي والميكروبي. تصفى الأجسام العالقة كبيرة الحجم والتي لا تمر خلال  
مسام الوسط الترشيحي. ويحدث هذا عادة على سطح المرشح حيث تحتجز هذه  
المواد في الطبقة العليا للوسط الترشيحي بما يزيد من كفاءة التنقية ولكنها تزيد من  
مقاومة تدفق المياه لأسفل. وبإزالة هذه الملوثات من الطبقة العليا من أن إلى آخر  
يمكن استعادة الضغط الرأسى (Pressure Head) للوسط الترشيحي لقيمه الأصلية.

الترسيب يزيل الأجسام الصغيرة العالقة والتي ترسب على سطح جسيمات  
الرمل للوسط الترشيحي. ونظرا لأن المساحة السطحية لجسيمات الرمل للوسط  
الترشيحي كبيرة جدا، والتي تصل إلى ١٠ - ٢٠ ألف متر مربع لكل متر مكعب  
من الرمل، وأن معدل الترشيح منخفض بما يوفر معدل تحميل سطحي منخفض فإن  
كفاءة الترسيب ستكون تبعا لذلك كبيرة جدا بما يمكن من إزالة الأجسام الصغيرة  
جدا. وهذه الإزالة تتم في السطح العلوي للوسط الترشيحي ولا يتسرب إلى عمق  
الوسط الترشيحي سوى المواد العضوية منخفضة الكثافة النوعية. المواد العالقة  
المتبقية والمواد الهلامية (Colloidal) وبعض الملوثات الذائبة تزال بالاندصاص

على الطبقة الجيلاتينية الملتصقة على سطح حبيبات الوسط الترشيحي أو بالجذب الكهروستاتيكي.

الانجذاب الكهروستاتيكي (Electrostatic Attraction) وإن كان مؤثرا ولكنة يحدث فقط بين الأجسام ذات الشحنات الكهربائية المختلفة. فرمل الكوارتز النظيف له شحنة سالبة ولذلك فإنه لا يمتز الأجسام ذات الشحنة السالبة مثل اليكتريا والمواد الهلامية من اصل عضوى وأن أيونات النترات والفوسفات والمركبات الكيماوية المشابهة. لذلك فائناء الأداء الجيد سيتعرض الوسط الترشيحي لتفسيرات مستمرة لشحنات السالبة والموجبة على الغشاء المحيط بحبيبات الرمل التى يمكنها امتزاز معظم الملوثات من المياه المارة.

الأجسام التى تراكمت على حبيبات الوسط الترشيحي لا تستمر بدون تغيير فإنها تتغير من خلال نشاط بيوكيمائى ويكتيرى فأملاح الحديد والمنجنيز ثنائية التكافؤ والتى لا تذوب فى الماء والتى تكون جزء من الغطاء المحيط بحبيبات الرمل قد تختزل إلى البيكربونات المذابة فى الماء نتيجة تفاعلها مع ثانى أكسيد الكربون الناتج عن التحلل البيولوجى للمواد العضوية. المواد العضوية التى تتأكسد جزئيا توفر الطاقة اللازمة لنمو اليكتريا ، والجزء الآخر يتحول الى مادة الخلايا التى تستخدم فى نمو اليكتريا. وجنبا إلى جنب مع نمو اليكتريا يوجد كذلك موت لليكتريا وبهذا توجد مواد عضوية والتى تحمل بواسطة المياه وتستهلك ثانيا بواسطة بكتريا على عمق أكبر فى الوسط الترشيحي. وبهذه الطريقة فإن المواد العضوية للقبالة للتحلل الموجودة أصلا فى الماء تتحلل بالتدرج وتتحول إلى مركبات غير عضوية مثل ثانى أكسيد الكربون، النترات، الكبريتات، للفوسفات وهذه المواد تصرف مع المياه الخارجة من المرشح. وللأداء المؤثر والجيد لعملية الترشيح فإنه من الضرورى أن تتحرك البكتريا إلى عمق الوسط الترشيحي وهذا يتطلب وقت مع حدوث تغير بطى فى معدل الترشيح خلال ساعات وعمليا فقد وجد أن النشاط الكلى لليكتريا يمتد الى ما بعد ٦٠ سم من عمق الوسط الترشيحي، مما يتطلب أن لا يقل عمق هذه الطبقة عن ٧٠سم.

أهم تأثير في تنقية المياه باستخدام المرشح الرملى البطيء هو إزالة البكتيريا والفيروسات خلال الإمتصاص والعمليات الأخرى حيث تزال البكتيريا من الماء وتحتجز على سطح حبيبات الوسط الترشيحي. وبالنسبة للبكتيريا المعوية فإن برودة المياه أحياناً تكون ظروف غير مناسبة لمعيشتها، بالإضافة إلى عدم احتواء المياه على ما يكفى من المواد العضوية من أصل حيوانى لمعيشتها، بالإضافة إلى وجود أنواع مختلفة من البكتيريا المفترسة فى الجزء العلوى للوسط الترشيحي والتي تتغذى على البكتيريا المعوية، وكذلك فإن الأكسدة البيولوجية الكيميائية (Biochemical Oxidation) تقلل من المواد العضوية المطلوبة لتكاثر ونمو البكتيريا. وكذلك تنتج مختلف الكائنات الدقيقة فى الوسط الترشيحي مركبات كيميائية (مضادات حيوية) والتي تقتل أو تقلل من نشاط أنواع من البكتيريا المعوية. والأثر الكلى هو النقص الكلى لعدد بكتيريا (E - Coli) ونظراً لأن الكائنات الحية الممرضة (Pathogens) أقل مقاومة من (E Coli) لذا فإن نسبة النقص فيها تكون كبيرة. وعند تنقية المياه العكرة بمحتوى متوسط من للبكتيريا فى المرشحات الرملية البطيئة، فإنه عادة ما تخفض بكتيريا E-Coli من عينة الماء للمرشح بنسبة كبيرة جداً.

عادة تنشأ المرشحات الرملية البطيئة فى الهواء الطلق (غير مغطاة). وقد يحدث نمو للطحالب بفعل التمثيل الضوئى وإن كان له سلباته إلا أنه يزيد من كفاءة المرشح مع زيادة الإزالة للمواد العضوية والبكتيريا وذلك بواسطة الطبقة الرقيقة الهلامية على أسطح الوسط الترشيحي، والتي تتكون من الطحالب العضوية وأنواع أخرى مثل البروتوزوا والبلانكتون. سطح الوسط الترشيحي يكون نشط جداً بأنواع مختلفة من الكائنات التي تحجز المواد وتهضم وتحلل المواد العضوية من المياه المارة خلالها. وكذلك يستهلك فى سطح الوسط الترشيحي العلوى الطحالب الميتة، البكتيريا الحية وتحتجز المواد العالقة الخاملة. وقد يسبق الترشيح البطيء الترسيب الطبيعى.

## ٣ - مبادئ التشغيل للمرشح الرمل البطيء :

كقاعدة فإن للمرشح الرمل البطيء يتكون من حوض مفتوح من أعلا ويحتوى على طبقة من الرمل، عمق الحوض حوالى ٣ متر ومساحته تختلف من بضع عشرات الى بضع مئات من الأمتار المربعة. يوضع فى قاع الحوض نظام للتصريف ولحمل الوسط الترشيحي. يتكون للوسط الترشيحي من الرمل الناعم والذي يكون عادة غير مدرج ويكون خالى من الطفلة ولايحسوى إلا القليل من المواد العضوية. سمك الوسط الترشيحي عادة من ١ - ١,٥ متر وترفع المياه التى تنقى حتى ١ الى ١,٥ متر فوق للوسط الترشيحي. يجهز المرشح للرمل البطيء بعدد من مواسير الدخول والخروج للمياه مجهزه بمحابس وتجهيزات تحكم بما يحافظ على منسوب المياه فوق سطح الوسط الترشيحي وثبات معدل الترشيح شكل (٦٧). وأثناء التشغيل فإن المياه تدخل حوض الترشيح خلال المحبس (أ) وتمر خلال محبس العوامة (ب) والمياه فوق للوسط الترشيحي تمر خلال طبقة الرمل الى الصرف للمياه المرشحة التى تمر خلال مقياس للتدفق والتحكم (ف) وتتدفق الى غرفة هدار المخرج ومنها تمر للمياه خلال المحبس (ج) ثم الى الحوض تجميع المياه الراقدة شكل (٦٧).

ولثبات معدل الترشيح فانه يلزم فتح محبس التحكم قليلا كل يوم لتعويض زيادة المقاومة للوسط الترشيحي نتيجة الانسداد. وعند التغير فى الطلب على المياه المرشحة يتم ضبط المحبس (ف) ببطى خلال فترة زمنية عدة ساعات مع مراجعة معدل إنتاج المياه بقراءة مقياس التدفق. هدار المخرج يمنع حدوث الضغط على الوسط الترشيحي بما يجعل عمل المرشح مستقلا عن التغير فى منسوب المياه فى حوض المياه الراقدة. والهدار كذلك يوفر التهوية للمياه والتهوية مطلوبة كذلك للمرشح للمساعدة فى خروج الغازات التى تنطلق أو التى تنتج أثناء الترشيح. ولتسهيل انطلاق هذه الغازات فإن قاع المرشح يكون بميل ١ : ٥٠٠ لأعلى فى اتجاه التدفق ولأغراض الصرف عند القيام بأعمال الإصلاح فإن أرضية حوض الترشيح تميل ١ : ٢٠٠ لأسفل. وعند تراكم كميات من الخبث (الطحالب الطافية كمثال) على سطح المياه أثناء الترشيح فإن مخارج الخبث فى الأركان الأربع

الباب الرابع: التلخص من المواد العالقة بالترشيح

للمرشح تكون مناسبة لانتظام ازالة المواد الطافية. وبعد فترة من التشغيل فان محبس التحكم (ف) يكون تام الفتح حيث تحدث زيادة في مقاومة المرشح وبالتالي نقص في معدل الترشيح، عندئذ يجب خروج المرشح من الخدمة للتنظيف.

ويجرى التنظيف بكشط طبقة الرمال العليا المحملة بالرواسب بسك ١,٥ - ٢ سم، وذلك بعد تصريف المياه من المرشح حتى مستوى ٢٠ سم أسفل طبقة الرمال. ولبدء عملية التنظيف يقلل المحبس (أ) عادة في نهاية اليوم بينما يستمر المرشح في تغريغ المياه بطريقة عادية خلال للمحابس (ف، ج). وفي صباح اليوم التالي يتم قفل المحابس ف، ج، والباقي من المياه فوق طبقة الرمال يتم صرفها من المحبس (س). ويتم التحكم في الصرف بواسطة هدار، قمة هذا الهدار تظل أقل أو أكثر قليلا من منسوب الوسط الترشيحي. المياه في الفراغات العشرين سننيمتر العليا للرمال يتم تغريغها بواسطة المحبس (ك) لفترة زمنية صغيرة. عند انتهاء عملية التنظيف يتم قفل المحبس (س) مع إعادة ملئ المرشح ببطن بمياه مرشحة من اسفل خلال المحبس (د) لمنسوب ١٠ سم فوق طبقة الرمال. وأثناء هذه العملية يلزم الحرص على خروج كل الهواء المحتجز في الفراغات للوسط الترشيحي.

بعد ذلك يسمح للمياه الخام (العكرة) بالدخول من المدخل خلال المحبس (أ) مع الحرص في عدم إتلاف الوسط الترشيحي. وينظم وضع المحبس (أ) فوق صندوق الصرف المتصل بالمحبس (س). وعند وصول المياه النظيفة والمرشح إلى المنسوب العادي والذي ينظم بواسطة محبس التحكم (ب) فإن المحبس (م) يتم فتحة كاملا وكذلك يتم فتح محبس التحكم (ف) بما يكفي تشغيل المياه النظيفة والمرشحة بحوالي ربع معدل التدفق العادي. وخلال الإثني عشر ساعة التالية يتم الرفع التدريجي لمعدل الترشيح إلى المعدل العادي. وبعد ما لا يقل عن ١٢ ساعة أخرى ويفضل بعد ٣٦ ساعة يقلل المحبس (م) ويفتح المحبس (ج) ويعود المرشح الى التشغيل العادي. وعند إيقاف المرشح عن العمل لمدة كبيرة مثل حالات الإصلاح أو إعادة التغذية بالرمال. فإن الزمن اللازم لنضج المرشح وكفائه تكون من ١ - ٢ يوم وقد يمتد إلى عدة أيام أخرى. وعندما يكون المرشح جديدا فان فترة الانقطار قد تصل الى عدة أسابيع. وفي حالة توقف المرشح لمدة كبيرة فإنه يلزم

صرف المياه كاملاً باستخدام المحابس (ك، ع، هـ). الطريقة التي ذكرت سابقاً للتشغيل المرشح الرملى البطيئ هناك بعض الصعوبات لتأمينها. وهى تعطى نتائج جيدة ولكن الإنشاءات معقدة. ويمكن تبسيطها وذلك عندما يكون معدل دخول المياه إلى المرشح ثابت على سطح الوسط الترشيحي لضبط معدل دخول المياه والذي يمكن تنفيذه بدون محبس تحكم الذى يعمل بالعوامة (ب). محبس (د) و(ك) يمكن أن يعملوا من محبس واحد. مهمة المحبس (ب) يمكن أن تتم بالمحبس (ج). مخارج الخبث للتخلص من المواد الطافية خاصة فى المرشحات الصغيرة وذلك عند إزالتها يدوياً.

### ٣ - اعتبارات التصميم للمرشح الرملى البطيء :

عند التصميم العملي للترشيح الرملى البطيئ يلزم اختبار أربع عناصر وهى عمق الوسط الترشيحي، التوزيع الحجمى لرمال المرشح، معدل الترشيح، عمق المياه فوق الوسط الترشيحي. وتبنى الاعتبارات التصميمية على الخبرة من محطات المعالجة المقامة والتي تستخدم نفس المصدر المائى أو مياه ذات طبيعة مماثلة. وعند عدم توفير هذه الخبرة فإن التصميم يجب أن يبنى على نتائج الاختبارات التجريبية والتي تتم باستخدام مرشحات التجارب. وعند عدم توفير البيانات الحقيقية أو التجريبية يمكن استخدام الخطوات التالية:

أ - فى المرحلة الأولى للتصميم يحدد سمك الوسط الترشيحي من ١ إلى ١,٢ متر. وهذا يكفي لأداء الوسط الترشيحي قبل الوصول إلى أدنى سمك ٠,٧ متر.

ب- يتم تحليل التوزيع الحجمى للرمال المتوفرة محلياً. يتم اختبار الرمال ذات الحجم المؤثر حوالى ٠,٢ مم ومعامل تجانس أقل من ٣ (قسم ٣ باب ٤) ويمكن قبول معامل تجانس (٥) والحجم المؤثر من ٠,١٥ إلى ٠,٣٥ مم. ورمال البناء قد توفر هذه المطالب.

ج- عند التصميم الأولى يتم تثبيت عمق المياه فوق الوسط الترشيحي ما بين ١ إلى ١,٥ متر.

د - يتم إعداد ما لا يقل عن وحدتين ترشيح ويفضل ثلاثاً. مع توفير مساحة من الأراضي لوحدات ترشيح إضافية.

هـ - يبنى المرشح من الخرسانة المسلحة بالشكل المستطيل والحوائط تكون عمودية بارتفاع ٣-٤ متر. مساحة المرشح عادة كبيرة فعند معدل تحميل سطحي ٠,٢ متر / الساعة لطاقة محطة سنوية ٢ مليون متر مكعب يتطلب مساحة من الوسط للترشيح ١٣٧٠ متر مربع. مع وجود وحدة احتياط (للتنظيف) يلزم ٤ وحدات المساحة السطحية لكل منها ٤٦٠ متر مربع أو ٦ وحدات كل بمسطح ٢٧٠ متر مربع (النسبة بين أقصى معدل استهلاك ومتوسط معدل استهلاك ١,٢). ولمنع قصر المسافة على طول حائط الحوض فإن الحوائط الداخلية تكون خشنة حتى نصف سمك الوسط للترشيح وأن تكون الحوائط مائلة قليلاً للخارج بما يساعد على الالتصاق الجيد للوسط الترشيحي بحوائط المرشح ومنع حدوث قصر المسافة. كما يلزم الحذر من ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

و - قاع المرشح يقوم بوظيفتين إحداهما حمل الوسط الترشيحي والآخر تصريف المياه المرشحة. مقاومة قاع المرشحات لمرور المياه المرشحة (الفقد في الضغط) يجب أن يكون صغيراً وفتحات أو ثقوب قاع المرشح تكون صغيرة لمنع مرور أي مواد منها.

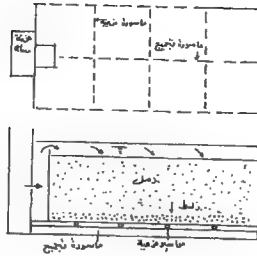
كما هو موضح في الشكل (٧٢) توجد أنواع من تجهيزات قاع المرشح فتشمل الطوب المصنوف والخرسانة المتقبة المصنوفة على دعائم خرسانية أو حديدية. ولمنع مادة الوسط للترشيح من الدخول والانسداد لنظام التصريف تستخدم طبقة من الزلط المدرج. الطبقة السفلي من الزلط المدرج تكون كبيرة الحجم بما يحافظ على حرية الفتحات في قاع المرشح. في حالة قاع المرشح المتقبة يكفي طبقة بسمك ١٠ - ٢٠ سم أما القاع بالطوب المرصوص بالفواصل المفتوحة (١٠ مم) يلزم أربع طبقات بأحجام ٠,٤ - ٠,٦ مم، ١,٥ - ٢ مم، ٥ - ٨ مم، ١٥ - ٢٥ مم من أعلا إلى أسفل وسمك كل طبقة ١٠ سم.



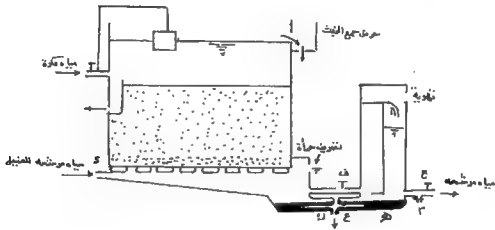
وفي المرشحات الصغيرة يكون استخدام المواسير للصغيرة المنقبة الجانبية أكثر مناسبة، وهذه المواسير المنقبة تكون متصلة بتصريف رئيسي الذي يوجه المياه خارج المرشح. وتكون المواسير إما من الفخار كامل الاستدارة أو نصف استدارة أو من الزهر. والأكثر شيوعاً في الإستخدام مواسير الأسبستوس والبولي إيثيلين. وتوضع المواسير ذات قطر حوالي ٨٠ مم بفواصل واحد متر وتكون منقبة بقطر ٥ مم علي الجانب السفلي وبمعدل عشرة ثقوب في المتر الطولي، ومأمورة للتصريف الرئيسية تكون غير منقبة وتكون مساحة مقطعها ضعف مساحة مقطع المواسير المنقبة المتصلة بها.

ز- يرتبط عمق المياه فوق الوسط الترشيحي بأقصى فقد في الضغط والذي يؤثر بالتالي علي طول دورة الترشيح، يلزم توفير فراغ فوق أقصى منسوب للمياه في المرشح بارتفاع ٢٠ سم، وأن تكون قمة حوايط المرشح بارتفاع لا يقل عن ٨٠ سم فوق سطح الأرض للحد من وصول الملوثات. وحدات محطة الترشيح الرملي البطني توضع في صفوف علي جانبي شريط خالي من الأرض لتسهيل التحرك لنظافة المرشح.

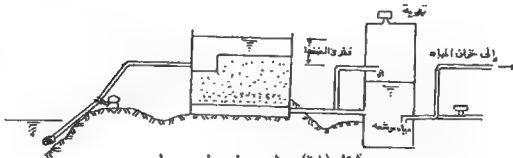
ح- يتم تنظيف المرشح بكشط السطح العلوي لطبقة الرمال بسمك ١,٥ - ٢ سم لإزالة الرمال الغير نظيفة. حيث ان الملوثات تكون بنسبة أكبر في الطبقات العليا وبنسبة أصغر في الطبقات العميقة والتي تتراكم بمعدلات صغيرة وهذا يمكن ان يسبب مشاكل في حالة استمرار الرمال في مكانها لمدة طويلة جداً. ولذلك بعد كشط الطبقة العليا عدة مرات والوصول الي أناسي سمك للوسط الترشيحي يلزم عندئذ إزالة ٣٠ سم إضافية من رمل المرشح قبل إضافة رمال جديدة. ونظراً لإحتواء الطبقة المزالة علي كل الكائنات اللازمة للأداء البيولوجي للمرشح الرملي لذلك يتم وضعها فوق الرمال الجديدة لتعجيل عملية النضج وحسن الأداء للوسط الترشيحي.



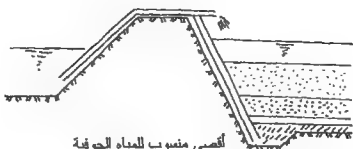
شكل (٦٦) للمرشح الرمل البطيء



شكل (٦٧) مكونات المرشح الرمل البطيء

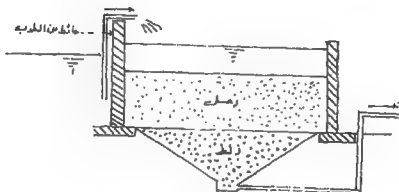


شكل (٦٨) مرشح رمل بطيء مبسط

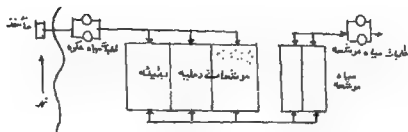


أقصى منسوب للمياه الجوفية

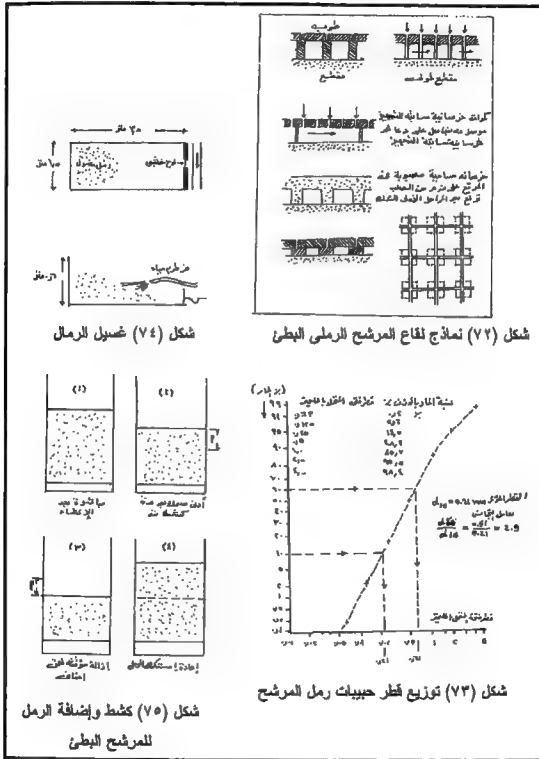
شكل (٦٩) مرشح رملي مبسط من الطوب على جانب جسر



شكل (٧٠) مرشح رملي بسيط



شكل (٧١) مخطط عام للمرشح الرملي البسيط



## القسم الثانى

### الترشيح الرملى السريع

#### ١- مقدمة :

كما سبق توضيحه بالنسبة للترشيح الرملى البطئ فإن الرمل هو المستخدم عادة كوسط ترشيحى فى الترشيح الرملى السريع ولكن هناك إختلاف فى الأداء بين الحالتين، وذلك بسبب إستخدام رمل أكثر خشونة حيث الحجم المؤثر لحبيبات الرمل يتراوح ما بين ٠,٤-١,٢ ملمتر، ومعدل الترشيح أكبر بكثير ليصل ما بين ٥ إلى ١٥ م<sup>٣</sup>/م<sup>٢</sup>/الساعة (١٢٠-٣٦٠ م<sup>٣</sup>/م<sup>٢</sup>/اليوم). وحسب حجم حبيبات الرمل فإن مسام الوسط الترشيحى تكون كبيرة نسبيا والأجسام العالقة فى المياه المروية سوف تخترق الوسط الترشيحى إلى عمق كبير وإذا فإن طاقة الوسط الترشيحى لاحتواء الملوثات لا يكون كبيرا فى الترشيح السريع. ولتنظيف الوسط الترشيحى فإنه لا يمكن كشط طبقة الرمال العليا وإذا يستخدم الغسيل العكسى لتنظيف الوسط الترشيحى، والذي يتم باستخدام تدفقات عالية من المياه فى عكس إتجاه تدفقات المرشح حيث يتمدد الوسط الترشيحى ويتم تنظيفه. وتحمل مياه الغسيل العكسى الرواسب المسببة لانسداد المرشح خارج المرشح. تنظيف المرشح السريع يمكن أن يتم بسرعة ولا يستغرق أكثر من ساعة، كما يمكن أن يتم من آن لآخر طبقا للحاجة وعند الضرورة كل يوم.

### ٢- استخدامات الترشيح السريع :

يستخدم الترشيح السريع في تنقية المياه لأغراض الشرب. فيستخدم في إزالة الحديد والمنجنيز لتنقية المياه الجوفية، كما يستخدم في تنقية المياه قليلة العكارة مثل مياه البحيرات العذبة وبعض حالات المجارى السطحية العذبة والتي تحتوى على كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض حيث يستخدم مطهر مثل الكلور للحصول على مياه آمنة. كما يستخدم الترشيح السريع لتنقية المياه بعد معالجتها بكيماويات الترويق والترسيب شكل (٧٦).

### ٣- أنواع المرشحات السريعة :

تنشأ المرشحات السريعة مفتوحة حيث تتدفق المياه إلى أسفل خلال الوسط الترشيحي بالجاذبية شكل (٧٧). وفي عمليات معينة تستخدم مرشحات الضغط والمرشحات التي تعمل بالتدفقات الصاعدة (Upflow Filters) شكل (٨٠) والمرشحات متعددة الوسط الترشيحي (Multi Media).

### ٤- نظرية عمل المرشح السريع :

الإزالة الكاملة للملوثات من الماء في المرشحات السريعة تتم بعده عمليات. وأهمها هي عملية الحجز (Straining)، الترسيب، العمليات البيولوجية والبكتيرية. وهذه هي نفس العمليات التي تم توضيحها في الترشيح الرمل البطيء. ولكن في الترشيح السريع يكون معدل الترشيح عالى جدا (حتى ٥٠ ضعف معدل الترشيح الرمل البطيء). الحجز (Straining) للملوثات في المرشح السريع ليس هام نظرا لكبر حجم الفراغات في الوسط الترشيحي. وكذلك الترسيب غير مؤثر نظرا للسرعة العالية للترشيح. ولذلك فإن الملوثات التي تزال بالحجز والترسيب تكون قليلة جدا مقارنة بالترشيح الرمل البطيء وخاصة فى الطبقات العليا للوسط الترشيحي والتي تكون أقل تأثيراً. ولهذا يحدث إختراق عميق للملوثات فى كل الوسط الترشيحي للمرشح السريع. واهم تأثير في تنقية المياه في المرشح السريع هو إحصاص الملوثات ذات الشحنة الكهربية على حبيبات الوسط الترشيحي الذى يحمل شحنة كهربية مختلفة. فى المرشح السريع للشحنات الامتاتيكية الطبيعية لمادة

الوسط الترشىحى تدعم بالشحنات الكهربائية الديناميكية الناتجة عن معدل التدفق العالى للمياه. فالشحنات الكهربائية (الأيونات) على حبيبات الوسط الترشىحى تسحب منها تاركة هذه الحبيبات حاملة شحنة موجبة (شحنة مختلفة). هذا التأثير الكبير يساعد على عملية الإمصصاص فى المرشح السريع نمر المياه فى دقائق، بينما فى المرشح البطئ تظل المياه عدة ساعات فى الوسط الترشىحى. الملوثات العضوية التى تحدث لامتداد تزال فى الرشح السريع بالغسيل العكسى. فرصة وقت التحلل البيولوجى للمواد العضوية محدودة جدا، هذا لا يمثل عيب كبير نظرا لأن المواد المسببة للامتداد تزال بغسيل المرشح. ونظراً لأن النشاط البيولوجى والكيمائى للمرشح السريع لا يكفى لإنتاج مياه آمنة بكتريولوجيا لذلك فإنه يلزم عمل معالجات تالية مثل الترشىح الرملى البطئ أو التطهير باستخدام الكلور أو أى مطهر آخر لإنتاج مياه صالحة للشرب شكل (٧٩، ٨٠، ٨١).

### تشغيل المرشح السريع ونظام التحكم:

#### ٥- تشغيل المرشح السريع الذى يعمل بالجازبيه شكل (٨٢)

أثناء الترشىح تدخل المياه من المحبس (أ) وتتحرك فى اتجاه الوسط الترشىحى وخلاله، وتمر من نظام التصريف السفلى (قاع المرشح) إلى خارج المرشح خلال المحبس (ب). ونظراً للامتداد التدريجى للممبام فإن مقاومة الوسط الترشىحى للمياه المتدفقة لأسفل تزداد بالتكرير، وهذا يعمل على تقليل معدل الترشىح إلا إذا تم تعويض ذلك برفع منسوب المياه فوق الوسط الترشىحى. أحيانا تصمم المرشحات السريعة للعمل بمنسوب ثابت للمياه والذى يتطلب تجهيز المرشح بالتحكم فى معدل الترشىح سواء بالنسبة للمياه الداخلية أو فى خطوط المياه المرشحة الخارجة. أجهزة التحكم فى معدل الترشىح هذه توفر مقاومة مقاسة لتتفق المياه، وهذه تفتح بالتكرير آلياً لتعويض الزيادة فى مقاومة الوسط الترشىحى ولثبات ظروف التشغيل للمرشح السريع. وفى بعض الأحيان وبعد فترة من التشغيل فإن جهاز التحكم فى معدل الترشىح يكون مفتوحا تماما ولهذا لا يمكن تعويض الامتداد فى الوسط الترشىحى ويقل معدل الترشىح، وفى هذه الحالة يوقف المرشح لعمل الغسيل العكس.

ولعمل الغسيل العكس يتم قفل كلا من المحبس (أ)، (ب) وفتح للمحبس (د) لصرف المياه الخام المتبقية خارج المرشح. وبعد عدة دقائق يفتح المحبس (هـ) لدخول مياه الغسيل، معدل الغسيل للعكس يجب أن يكون عاليا بما يعمل على تمدد الوسط الترشيحي وغسيل حبيبات الرمل والتخلص من الرواسب المتراكمة مع مياه الغسيل والتي يتم جمعها وصرفها. وعند انتهاء الغسيل العكس يتم قفل المحبس (د)، (هـ) وإعادة فتح للمحبس (أ) للسماح للمياه لدورة الترشيح الجديدة. وفي المرشحات ذات الحبيبات الصغيرة للوسط الترشيحي فإن الغسيل الناتج عن عملية الغسيل العكس قد لا يكون كافيا على المدى الطويل للمحافظة على نظافة الوسط الترشيحي، بما قد يتطلب عمل نظافة إضافية باستخدام الهواء والماء في الغسيل العكس. وهكذا أكثر تعقيدا عن الغسيل بالمياه فقط ولا يوصى به في المرشحات الصغيرة.

نموذج آخر لتوضيح تشغيل المرشح شكل (٩٥)، شكل (٩٦).

- \* بداية التشغيل يمكن فتح الصمامات ٢،١ حتى ترتفع المياه في المرشح من أسفل لأعلى وذلك لطرد الهواء بين فجوات الزلط والرمل.
- \* فترة التحضير : نقفل الصمامات ٢،١ ونفتح الصمامات ٤،٣ لمدة ٥ - ١٥ دقيقة لتهيئة المرشح للعمل بتكوين طبقة هلامية رقيقة على سطح الرمل لتساعد في إتمام عملية الترشيح بكفاءة.
- \* فترة الترشيح : يقفل الصمام ٤ ويفتح الصمام ٥،٣ وتستمر هذه الفترة ١٢ - ٣٦ ساعة حتى يصل الفاقد في الضغط نتيجة مرور المياه في طبقات الرمل والزلط الى حوالي ٢٥٠ سم ويكون هذا الفاقد في البداية ٤٠ - ٦٠ سم.
- \* غسيل المرشح : يقفل الصمام ٥،٣ ويفتح الصمام ٧ لدخول الهواء المضغوط لمدة ٢-٣ دقيقة ويفتح الصمام ١، ٢ لمدة حوالي ٥ دقائق لدخول مياه الغسيل وتصريفها ثم تكرار الدورة بفترة التحضير ثم فترة الترشيح ثم فترة الغسيل وهكذا.



\* يستخدم أحياناً للمساعدة في غسيل المرشحات أمشاط معدنية تتحرك في الجزء العلوى من الرمال فتساعد على تحريك حبيبات الرمال واحتكاكها ببعضها وتستخدم أحياناً رشاشات مياه قوية يتم توجيهها لمسطح المرشح أو هواء مضغوط مع رشاشات المياه ويعتمد اختيار طريقة الغسيل على أبعاد المرشح وتصميمه وتشغيله.

## ٦ - التحكم في الترشيح: أشكال (٨٣، ٨٤)

توجد طرق كثيرة من نظم التحكم في معدلات الترشيح والأكثر استخداماً هو تنظيم التحكم في الترشيح بتساوى توزيع المياه الداخلة للمرشح على وحدات الترشيح أو بالسحب المنتظم للمياه المرشحة (باستخدام محابس التحكم في المنسوب، هدارات التدفق العلوى، السيفونات). للنموذج الموضح في الشكل (٨٤ - ب) بسيط لعدم وجود أجزاء متحركة، حيث تدخل المياه الى المرشح على هدار. وفى كل المرشحات تكون حافة الهدار على نفس المستوى. وقناة التغذية بالمياه الى المرشحات تكون بالحجم الذى يسمح بتدفق المياه بدون فقد فى الضغط. ومنسوب المياه فيها يكون متساوياً عند مدخل كل هدار، وبذا يكون معدل التدفق فوق كل هدار متساوياً والتغذية بالمياه لوحدة المرشح تكون متساوية فى التوزيع.

كما يمكن للتحكم فى معدل الترشيح لكل المرشحات بمعدل التغذية بالمياه، حيث يمكن التحكم لتوفير المطالب من المياه المرشحة. ولتجنب اختلاف منسوب المياه فى المرشحات يمكن استخدام للنموذج فى الشكل (٨٤ - ج)، حيث يستخدم محبس تحكم يعمل بعامة للمحافظة على منسوب المياه فى كل مرشح. وغالباً فإن الترشيح السريع يستخدم لتنقية المياه التى سبق معالجتها بالمرويات وفى المروقات بحجز الزغابات العالقة التى لم تحجز فى المروقات أو فى أحواض الترسيب. عندئذ يلزم تجنب نفث هذه الزغابات ولذا فإن هدارات الدخول لا تكون مناسبة فى هذه الحالة. ويكون الأفضل هو استخدام النموذج (٨٤ - أ) يجهز كل مرشح بصندوق عوامة للمحافظة على ثبات منسوب المياه فى كل وحدات الترشيح باستخدام محبس التحكم بالعوامة. وتصمم قناة خروج المياه للمحافظة على منسوب المياه فى كل مخارج المرشحات. والمعدل الكلى لإنتاج جميع المرشحات يمكن التحكم فيه بمعدل السحب للمياه المرشحة.

وعند عدم استخدام نظم التحكم فى الترشيح فإن الترشيح يتم بمعدل ترشيح متناقص (Declining Rate Filtration). يمكن استخدام محابس للتحكم فى المرشح شكل (٨٥). فى هذا النظام تكون كل وحدات الترشيح على اتصال مفتوح بفتحات دخول المياه وخروج المياه المرشحة ولذا فإن كل وحدات الترشيح تعمل بنفس الضغط. عندئذ فإن معدل الترشيح لوحدات الترشيح سيكون مختلف، ليكون على المرشح الذى تم حالياً تنظيفه بالغسيل العكس وأقل بالنسبة للمرشح ذو أعلا دورة ترشيح. ولكل المرشحات المتصلة بحد الإنتاج طبقاً لإمدادات المياه الداخلة، والذى سوف يكون عاليا بما يكفى الاحتياج من المياه المرشحة. أثناء الترشيح فإن الوسط الترشيحي يحدث له انسداد تدريجي ويرتفع منسوب المياه فى كل المرشحات نتيجة زيادة مقاومة الوسط الترشيحي لتدفقات المياه. وحدة الترشيح التى استمرت فى التشغيل أطول مدة تحتاج الى النظافة بالغسيل العكس ثم يفتح صمام هذه الوحدة ذات أقل مقاومة لتدفق المياه الداخلة ولذلك فإن نصيب المرشح من المياه الداخلة سيكون كبيراً ويقل التحميل على باقى المرشحات مؤقتاً وهكذا. وفى حالة عدم عمل إجراءات خاصة فإن معدل الترشيح بعد التنظيف مباشرة يمكن أن يكون عالياً جداً حتى  $25 \text{ م}^3/\text{ساعة}$  والذى يكون أعلا بكثير عن المعدل المتوسط  $5-7 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ . وعند الضرورة وللتحكم فى معدل الترشيح للمحافظة على نوعية المياه المرشحة يتم توفير تجهيزه إضافية لمقاومة التدفق (نافورة مثلاً) مثبتة على خط خروج المياه المرشحة. الترشيح بالمعدل المتناقص هو العادى فى المرشحات التى تعمل بالضغط. ونظراً لبساطته فإنه يستخدم فى المحطات الصغيرة فى الدول النامية. يمكن تنظيم التحكم فى الترشيح والغسيل ألياً شكل (٩٧)

## ٧- الاعتبارات التصميمية

لتصميم المرشح السريع يلزم تحديد أربعة عناصر وهى: حجم الحبيبات للوسط الترشيحي. سمك طبقة الوسط الترشيحي، عمق المياه فوق الوسط الترشيحي، معدل الترشيح. وطبقاً للظروف المناخية فإن هذه العناصر تبني على أساس الخبرة للمرشحات التى تعالج نفس النوعية من المياه أو مياه مشابه لها وعند عدم توفير ذلك، فإن التصميم يبنى على أساس النتائج المتحصل عليها من مرشح تجريبي. هذه العناصر الأربعة مرتبطة ببعضها حيث يتأثر كلا من التحسن فى نوعية المياه

بطول دورة الترشيح ولكن التأثير على تكاليف الإنشاء يختلف. حجم حبيبات الوسط الترشيحي وتوزيعه ليس له تأثير على التكاليف، الحجم الصغير للحبيبات يحسن من نوعية المياه المرشحة ولكنه يسبب سرعة الانسداد للوسط الترشيحي وبالتالي النقص في زمن دورة عمل المرشح. في حالة استخدام حبيبات الوسط الترشيحي أقل من ٠,٨ مم يلزم استخدام الهواء للتنظيف. كلما زاد سمك الوسط الترشيحي كلما تحسنت نوعية المياه المرشحة. يجب أن يكون عمق المياه فوق الوسط الترشيحي كبير بما يكفي لمنع الضغط السلبي (Negative Pressure) كلما زاد العمق لطبقة المياه كلما زادت دورة عمل المرشح وإهم العوامل هو معدل الترشيح حيث يزيدته تقل نوعية المياه ودورة عمل المرشح وإن كان يقلل من التكاليف نظراً لصغر مساحة الوسط الترشيحي. وتصميم المرشح السريع يبنى على نتائج المرشح للتجريبى.

#### ٨- تنظيم الغسيل العكسي:

ينظف المرشح السريع بالغسيل العكسي وذلك بتوجيه تدفقات المياه الى أعلى خلال الوسط الترشيحي لمدة عشر دقائق. للمياه المستخدمة في الغسيل العكسي تكون مياه مرشحة مرفوعة إلى خزان علوى أو مياه مرشحة من وحدة ترشيح أخرى في التشغيل. تكون تدفقات المياه بسرعة عالية بما يكفي لحدوث تمدد فى الوسط الترشيحي وبما يمكن المواد المسببة للانسداد من التفكك وحملها بمياه الغسيل العكس. لإعطاء ٢٠% تمدد موضح فى جدول (١١) التالى.

الجدول ( ١١ )

| متوسط قطر<br>حبيبات الرمل (مم) | ٠,٤   | ٠,٥ | ٠,٦ | ٠,٧ | ٠,٨ | ٠,٩ | ١,٠ | ١,١ | ١,٢ |
|--------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| درجة حرارة                     | معدل التدفق للغسيل م <sup>٣</sup> / م <sup>٢</sup> / الساعة |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ١٠°م                           | ١٢  | ١٧  | ٢٢  | ٢٩  | ٣٤  | ٤٠  | ٥٧  | ٥٤  | ٦٢  |
| ٢٠°م                           | ١٤  | ٢٠  | ٢٦  | ٣٣  | ٤٠  | ٤٨  | ٥٦  | ٦٤  | ٧٣  |
| ٣٠°م                           | ١٦  | ٢٣  | ٣٠  | ٣٨  | ٤٧  | ٥٦  | ٦٥  | ٧٥  | ٨٦  |

وعند استخدام الضخ لرفع المياه للغسيل العكسي يستخدم عادة ثلاث مضخات واحدة منهم احتياط ومضختين فى التشغيل ويكفى مضختين للمحطات الصغيرة. يكون من المناسب استخدام خزان علوى لمياه الغسيل العكسي شكل (٨٥) ويملاً بطلمبات صغيرة فى الفترات بين الغسيل العكسي، ويكون مستواه من ٤-٦ متر فوق منسوب المياه فى المرشح. لفتح المياه الى خزان مياه الغسيل العكسي يستخدم عادة ثلاث فتحات (واحد احتياط) وتكون الطاقة الإجمالية للفتحتين فى التشغيل ١٠-٢٠% من معدل الإمداد بمياه الغسيل. وفى حالة عدم استخدام خزان مياه الغسيل وأخذ المياه من حوض المياه للمرشحة فإن هذا يسبب اضطراب فى شبكة التوزيع ويسبب الإمداد المنقطع للمياه. والبديل الأسهل هو زيادة عمق المياه فوق الوسط الترشيحي للحد من أقصى مقاومة للوسط الترشيحي. يكون عمق المياه المرشحة فوق الوسط الترشيحي من ١,٥-٢ متر. وحدات الترشيح العاملة فى محطة الترشيح يجب ان تكون قادرة على توفير هذا الكم من المياه لمعدل الغسيل العكسي. محطة للترشيح السريع التى تستخدم هذا النظام فى الغسيل العكسي يجب أن يكون بها ما لا يقل عن ستة مرشحات.

وعند دفع مياه الغسيل من أسفل الوسط الترشيحي خلال نظام الصرف السفلى فى قاع المرشح وتوزيع مياه الغسيل بالتساوى على كل مساحة الوسط الترشيحي فإن نظام الصرف السفلى يجب أن يوفر المقاومة الكافية لمرور مياه الغسيل (عادة من ٠,٦ إلى واحد / متر ضغط ماء). عادة يكون نظام الصرف السفلى من مواسير مثقبة من أسفل بقطر حوالى ١٠مم من الاميستوم أو البلاستيك القوي ولمنع دخول مواد الوسط الترشيحي من دخول الثقوب فإن الوسط الترشيحي يحمل على مادة خشنة (الزلط) والتي لا تتأثر بمياه الغسيل العكس المنبثقة من الثقوب السفلية. فمثلاً فى حالة رمل الترشيح بالحجم المؤثر (Effective. Size) من ٠,٧ الى ١ ملمتر فإنه يحتاج إلى ٤ طبقات من الزلط من أعلى إلى أسفل ١٥سم (٢-٢,٨مم)، ١٠سم (٥-٨مم)، ١٠ سم (١٦-٢٣مم)، ٢٠سم (٣٨-٥٤مم) العمق الكلى لطبقات الزلط يكون ٥٥ سم.

بعد مرور المياه المرشحة للوسط الترشيحي حاملة الملوّثات فإنّها تجمع وتصرف في أحواض مياه الغسيل. المسافة الأفقية التي تقطعها مياه الغسيل إلى حوض تجميع يجب أن تكون محدودة بحوالي ١,٥ - ٢,٥ متر. توضع أحواض تجميع مياه الغسيل لتكون قيمتها على مستوى من ٥٠ - ٦٠ سم فوق منسوب الوسط الترشيحي قبل التمدد، ومساحة مقطعها تتوافق مع نهاية الصرف للحوض ويكون عمق المياه جاهز للصرف شكل (٨٦). الجنول (١٢) يوضح معدل التدفق لمياه الغسيل (q) وعلاقته بعمق التدفق لمياه الغسيل (H) وعرض حوض مياه الغسيل (b) وطاقة الأحواض في.

جنول (١٢) استيعاب مياه الغسيل ( لتر / ثانية ).

| عرض الحوض (b) |         |        | H               |
|---------------|---------|--------|-----------------|
|               |         |        | عمق تدفقات مياه |
|               |         |        | الغسيل في الحوض |
| ٤٥سم          | ٣٥سم    | ٢٥سم   |                 |
| ٢٥ ل/ت        | ٤٠ ل/ت  | ٣٠ ل/ت | ٢٥سم            |
| ٩٦ ل/ت        | ٧٥ ل/ت  | ٣٥ ل/ت | ٣٥سم            |
| ١٤٨ ل/ت       | ١١٥ ل/ت | ٨٢ ل/ت | ٤٥سم            |

يمكن وضع أحواض الغسيل بطرق مختلفة، بعض نماذج أحواض الغسيل شكل (٨٧).

عند استخدام الرمال الناعمة ذات قطر حبيبات أقل من ٠,٨ مم، فإن قدرة الغسيل لتدفقات المياه المساعدة قد لا تكون كافية للمحافظة على نظافة حبيبات الرمل مع مضي الوقت، وبعد وقت ما يمكن أن تغطي الحبيبات بطبقة لزجة من المواد العضوية، بما يسبب مشاكل مثل كرات الطين وشقوق في المرشح. ويمكن منع هذه السليبيات بتوفير الهواء المضغوط في الغسيل العكسي بمعدل ٣٠-٥٠ متر مكعب في الساعة مع الماء بمعدل ١٠-١٥ متر مكعب في الساعة، وهذا يزيل الغطاء اللزج على سطح الحبيبات. وعند عمل الغسيل العكسي بالهواء يلزم توفير

شبكة مواسير منفصلة الشكل (٨٨) يوضح أحد النماذج الشكل (٨٩) يوضح تنظيم التغذية بالهواء والماء للغسيل العكسي. يبدأ الغسيل العكسي بتدفق المياه من الغرفة رقم (١) الى الغرفة رقم (٢)، الهواء الغرفة رقم (٢) يضغط ليقوم بتنظيف المرشح. يستخدم الماء المتجمع في الغرفة (٢) في تنظيف المرشح شكل (٩٠).

## ٩- المخطط العام لمحطة معالجة مياه الشرب بالمرشحات السريعة:

أشكال (٩١، ٩٣)

محطة المعالجة بالمرشحات السريع تتكون من وحدات ترشيح (لا تقل عن وحدتين) مساحة كل واحدة (A). عند وجود أحد المرشحات خارج الخدمة للغسيل، فإن باقى الوحدات يجب أن تكون قادرة على توفير طاقة المياه المرشحة (Q) بمعدل الترشيح المطلوب (r). ويعبر عن ذلك بالمعادلة  $Q = (n-1) A r$  حيث n هو عدد المرشحات. وفي التصميم التجريبي فإن مساحة وحدة الترشيح (A) بالمتر المربع يمكن تقديرها بـ ٣,٥ ضعف عدد وحدات الترشيح. ومن الناحية الاقتصادية فإن وحدات الترشيح يجب أن توضع في مجموعات متلاصقة مع مواسير دخول وخروج المياه، وكذلك خطوط التغذية بالكيماويات تكون قصيرة ما أمكن. يجب الأخذ في الاعتبار التوسعات المستقبلية للمحطة كمثال شكل (٩١). والخدمات العامة مثل طلبات مياه الغسيل والتغذية بالكيماويات والمكاتب وغرف التخزين، تدوال الكيماويات وتخزينها وللمرافق للصحة توضع في مبنى في الوسط بينما على الأجناب توضع وحدات الترشيح المختلفة على جانب أو جانبيين من ممر ذو مستويين المستوى العلوى يكون للتشغيل والمفلى لمجرى المياه. مخطط عام لتشغيل المرشح السريع شكل (٩٥، ٩٦، ٩٧) شكل ٩٨ الذى يعمل آلياً و شكل (٩٧) الذى يعمل بنظام الغسيل الآلى.

## الإنشاءات:

كما سبق شرحه فإن المرشح السريع يتكون من حوض من الخرسانة المسلحة يحتوى على نظام صرف سفلى والوسط الترشيحي والمياه فوق الوسط الترشيحي ويكون الحوض مستطيل بحوائط عمودية. وتصميم المنشأ الخرساني يتم طبقاً

للقواعد العامة مع الأخذ في الاعتبار أن يكون مانعا لنفاذ المياه. توضع أسياخ حديد التسليح بعيدة عن بعضها بما يسمح بإحاطتها كاملا بالخرسانة. يقسم المنشأ الى عدد من القطع المستقلة (Individual-Sections) مربوطة بوصلات تمدد مائعة لنفاذ المياه. وتكون الخلطة الخرسانية وعملية خلط الخرسانة تحقق عدم النفاذ للمياه مع أدنى انكماش نتيجة جفاف الخرسانة ولا يتم الدهان بالجبس. ولا يتم التسطيب الجيد. ولمنع قصر المسافة على جدار المرشح (Short Circuiting) توضع ألواح خشبية أفقية ليست متطابقة من المنظور الرأسي في مواجهة الوسط الترشيحي ومثبتة في الجدار الداخلي للمرشح. يوضح المرشح بعيداً عن منسوب المياه الجوفية وعند الضرورة فوق أرض مرتفعة.

أسهل طريقة لعمل نظام الصرف السفلي لتحقيق التوزيع المتساوي لمياه الغسيل على كل الجانب السفلي للوسط الترشيحي هو باستخدام المواسير المتقبة أو باستخدام قطع خرسانية سابقة للتجهيز  $60 \times 60$  سم وتجهيز هذه القطع بتقريب بمعدل 60 ثقب في المتر المربع توضع فيها الفني (Strainers) كما في الشكل (٩٢). الفني من البلاستيك الذي يتحمل الوسط الترشيحي، وفئات الفني ضيقة حوالي ٥.٠ مم بما يوفر مرور المياه وحسن توزيعها. وفي هذه الحالة يمكن وضع رمل المرشح فوق قاع المرشح مباشرة مع الفني مع عدم الحاجة الي طبقة الزلط تحت رمال المرشح. ولمنع التصنيف للهيدروليكي أثناء الغسيل العكسي والذي يدفع بالحبيبات الناعمة إلى أعلي والحبيبات الكبيرة الي قاع الوسط الترشيحي. لذلك فإن الرمال في الوسط الترشيحي يجب ان يكون منتظم في الحجم كلما أمكن ويجب أن يكون معامل التجانس للرمال أقل من ١,٧ ليكون حوالي ١,٣. والمفضل هو وضع طبقة من الزلط بارتفاع ٤٠ سم ويتدرج في الحجم بين ٢٠ - ٤٠ مم وتوضع فوق الأنابيب (الفني) وفوق الزلط طبقة الرمل التي يتم الترشيح خلالها.

## ١٠- المرشحات التي تعمل بالضغط: (Pressure Filters)

شكل (٩٩):

المرشحات الرملية التي تعمل بالضغط عبارة عن هيكل أسطواني يتحمل ضغط داخلي أكبر من ٢ جوى يوضع بداخله مواد الترشيح مثل الرمل ويستخدم

الباب الرابع: التلخيص من المواد المتعلقة بالترشيح  
هذا النوع على نطاق واسع في الترشيح للتصرفات الصغيرة ولترشيح مياه حمامات  
السباحة بوجه خاص. ويختبر الهيكل الأسطواني للمرشح على ضغط لا يقل عن  
ضعف ضغط التشغيل.

يفضل إلا يزيد معدل الترشيح لهذا النوع من المرشحات عن ٢٤٠ متر مكعب  
في اليوم لكل متر مربع من سطح المرشح وتكون هذه المرشحات إما رأسية أو  
أفقية من حيث محور الهيكل الأسطواني للمرشح إلا أن سريان المياه في كلا  
النوعين يكون رأسياً ومن أعلى لأسفل. يكون الهيكل الأسطواني للمرشح عادة  
من الصلب المقاوم للصدأ ويكون قطر المرشح من ٥٠ - ٢٦٠ سم وطوله  
أو ارتفاعه من ١٠٠ - ٧٥٠ سم والأحجام المستخدمة بكثرة تكون عادة  
بالتصرفات الآتية:

٥ - ١٠ - ٢٠ - ٣٠ - ٦٠ - ١٠٠ - ١٥٠ متر مكعب في الساعة وفي  
أى الأحوال يفضل استخدام مرشحين على الأقل في عملية المعالجة للمياه لمواجهة  
أى أعطال أو مشاكل فى التشغيل وبين الشكل (٩٨) رسماً توضيحياً لهذا النوع من  
المرشحات.



## القسم الثالث

### مواد الترشيح

#### مقدمة :

مواد الترشيح مثل رمل السيليكأ أو الفحم النباتي وكذلك الزلط الحامل لمواد الترشيح يجب أن يتم استخراجه من مناجم مستخدمة بانتظام للحصول على مواد الترشيح لتنقية المياه. الوسط الترشيحي هو المواد التي تزيل الجسيمات العالقة من الماء أثناء عملية الترشيح ومن هذه المواد الأنثرأثيت (الفحم النباتي) ورمل السيليكأ، الزلط. وتستخدم حبيبات الأنثرأثيت (الفحم المنشط) للترشيح والأمصاص. يحدد للعمق للوسط الترشيحي وحجم الحبيبات فى المرشح بواسطة المصمم حيث يؤخذ فى الإعتبار حالة المياه العكرة ومدى المعالجة بالكيمأويات. فى حالة الوسط الترشيحي الخشن فإنه يسمح بدورات ترشيح أطول عن الوسط الترشيحي الناعم عند معدل معين للترشيح. تتحسن الإزالة للمواد العالقة مع زيادة عمق الوسط الترشيحي أو صغر حجم الحبيبات أو كليهما. عند إستخدام حبيبات الفحم المنشط فى الوسط الترشيحي فإن حجم الحبيبات الفحم يتوقف على الحجم والكثافة النوعية للرمل أو أى مادة أسفل طبقة حبيبات الفحم المنشط. فى حالة صغر حجم حبيبات الفحم يحدث أثناء الغسيل لتنظيف الرمل وفى حالة كبر حبيبات الفحم أكثر من اللازم يحدث خلط بين المادتين فى منطقة التقابل. يستخدم

الباب الرابع: لنتخلص من المواد العالقة بالترشيح  
الوسط الترشيحي عالى الكثافة مثل العقيق (Garnet) أو الإلمينيت (Elminite)  
لزيادة الإزالة للمواد العالقة وزيادة معدلات الترشيح وهذا الوسط عالى الكثافة  
يظل كطبقة تحت طبقة الرمل لاختلاف الكثافة وحجم الحبيبات وبنفس الطريقة فلن  
رمل السيليكا يظل منفصلا عن طبقة الفحم فوقه فى الوسط الترشيحي المزوج.  
العقيق هو تسمية لمواد مختلفة وهى سيليكا الحديد والألومنيوم والكالسيوم أو خام  
الكروم والألمينيت (Elminite).

#### ١- تعاريف:-

##### أ - القطر المؤثر (الفعال) (Effective Size)

القطر الفعال للرمل هو فتحة المنخل بالمليمتر التى تسمح بمرور ١٠% من  
وزن عينة الرمل الممتلئة للوسط الترشيحي أو بمعنى آخر بأنة فتحة المنخل التى  
تحتجز ٩٠% الوزن من عينة الرمل بصرف النظر عن التدرج الحبيبي للرمل فإذا  
كان ١٠% من وزن عينة الرمل ذات قطر أقل من ٠,٤٥ مم فإن مادة الوسط  
الترشيحي لها قطر مؤثر ٠,٤٥ مم.

##### ب- معامل التجانس : (Uniformity Coefficient)

معامل التجانس يعبر عن درجة التغير فى قطر الرمل وهو عبارة عن النسبة  
بين فتحة النخل التى يمر من خلالها ٦٠% من وزن الرمل والقطر الفعال (أو  
المؤثر) فعلى سبيل المثال إذا كانت فتحة المنخل التى يمر من خلالها ٦٠% من  
وزن الرمل هى ٠,٧ مم وكان القطر الفعال للرمل هو ٠,٣٥ مم فإن معامل  
التجانس يكون  $٠,٧ \div ٠,٣٥ = ٢$ .

(١) للرمل المستخدم فى المرشحات الرملية البطيئة يكون القطر لفعال من ٠,٣ إلى  
٠,٣٥ ويكون معامل التجانس من ١,٧٥ إلى ٢.

(٢) الرمال المستخدمة فى المرشحات الرملية السريعة يكون القطر الفعال من  
٠,٣٥ إلى ٠,٥ مم ويفضل ألا يزيد معامل التجانس عن ١,٦٥ وبالنسبة

لحببيبات الفحم المنشط فإن القطر المؤثر ما بين ٠,٦٥ مم إلى ١ مم ومعامل التجانس ٨٥, ١.

## ٢- استخدام الفحم المنشط في عمليات الترشيح

تستخدم عادة حببيبات الفحم المنشط أو بودرة الفحم المنشط لإزالة المواد العضوية المذابة واللون والمواد المسببة للطعم والرائحة في معالجات المياه. وعموماً فإن المركبات ذات الوزن الجزيئي العالي والمواد الغير متأينة تمتاز أكثر من المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض والمواد المتأينة.

وتستخدم بودرة الفحم المنشط عادة لمعالجة مشاكل المذاق والرائحة الموجودة في مصادر المياه السطحية والتي تتغير نوعيتها موسمياً وذلك في محطات المعالجة التقليدية لما بالخلط السريع مع المياه من المأخذ أو مع المياه الداخلة إلى حوض الترريب أو المياه الداخلة إلى المرشح. وتتوقف مناسبة مكان الاستخدام على القدرة على الخلط المناسب مع المياه وكذلك إعطاء الوقت اللازم للإمصاص للملوثات وكذلك التقليل من التدخل مع الكيماويات الأخرى المستخدمة في المعالجة والقدرة على عدم التغير في نوعية المياه المعالجة لوجود حببيبات بودرة الفحم المنشط. الجرعة العادية هي من ١-٥٠ ملجرام/لتر.

معالجة المياه بحبيبات الفحم المنشط مكلف عن بودرة الفحم المنشط إلا أن حببيبات الفحم أكثر فاعلية في إزالة الملوثات من الكيماويات العضوية الكثيرة التي تؤثر على المذاق والرائحة والمواد العضوية للكلية والترايهاوميثان والكيماويات العضوية المتطايرة والملوثات من الكيماويات العضوية المخلفة. تتأثر كفاءة حببيبات الفحم المنشط بمواقع الاستخدام في مراحل المعالجة. فالمعالجة المسبقة يمكن أن تقلل من الحمل العضوي على حببيبات الفحم المنشط وتزيل المواد الصلبة العالقة التي يمكن أن تتدخل في عملية الامصاص / أو تسبب انسداد هيدروليكي.

عملية الامصاص بواسطة حببيبات الفحم المنشط مكلفة نسبياً وخاصة أن تكاليف التثبيط الحراري مكلف. يمكن عمل التثبيط الحراري في الموقع. وفي وحدات المعالجة الصغيرة يتم التخلص من حببيبات الفحم للنشط بعد استخدامها

الباب الرابع: التلخيص من المواد العالقة بالترشيح

واستبدالها حيث يعتبر ذلك أكثر وفرة. ويتم التنشيط بإستخدام مواد حامضية أو قلوية أو مذيبة للشوائب على حبيبات الفحم المنشط وبعد إنتهاء عملية التنشيط يتم تصريف ما بقى من محلول من طبقة حبيبات الفحم ثم تنظيفه بالماء المرشح وإعادة استخدامه أما للتنشيط الحرارى لحبيبات الفحم فيتم على ثلاثة مراحل:

(١) التجفيف عند درجة حرارة ١٠٠°م لمدة ١٥ ق لتجفيف حبيبات الفحم مما علق بها من مياه.

(٢) التخلل الحرارى للمركبات العضوية الممتزة فى حبيبات الفحم وذلك عند درجة حرارة ٨٠٠°م لمدة ٥ دقائق حيث تتطاير المواد العضوية.

(٣) التنشيط عند درجة حرارة أعلا من ٨٠٠°م لمدة ١٠ دقائق لأكسدة الشوائب المتبقية حيث تصبح حبيبات الفحم منشطة فى النهاية بين الشكل (١٠٠) نموذج لمرشح تستخدم فيه حبيبات الفحم المنشط.

### ٣- وضع الوسط الترشيحي :

أ - يتم نظافة الجسم الداخلى للمرشح قبل البدء فى وضع مواد الترشيح مع المحافظة على استمرار النظافة طوال فترة وضع مواد الترشيح وقبل وضع أى مادة يتم تعليم أعلى منسوب لكل طبقة على السطح الداخلى للمرشح.

ب- يتم تشوين كل مادة ترشيح منفصلا مع المحافظة عليها من التلوث.

ج - الطبقة السفلى من الزلط توضح بعناية لتجنب تلف نظام التصريف السفلى والزلط فى القاع يجب أن يكون خشنا بما يوفر منعة من الحركة بواسطة نافورات المياه الخارجة من فتحات نظام التصريف السفلى. أدنى حجم لحبيبات الزلط للطبقة السفلى فى القاع يجب أن يكون من ٢-٣ ضعف حجم فتحات التصريف وسمك كل طبقة من للزلط يجب ألا يقل عن ثلاث أضعاف أقصى حجم لحبة للزلط فى الطبقة ولا يقل عن ٣ بوصة.

فى حالة عدم انتظام قاع التصريف السفلى كما فى حالة فرعات المواسير للتصريف فإن الطبقة السفلى يجب أن تحيط وتغطى مواسير الصرف مع توفير

سطح منتظم للطبقة الزلطية والتي توضع فوقها الطبقة الزلطية التالية. فى حالة وضع الزلط فإن العمالة يجب أن لا تنف أو تتحرك مباشرة فوق مادة الترشيع بل يتم الوقوف والحركة على سقالات أو ألواح خشبية تتحمل أوزانهم بدون إزاحة لمادة الترشيع.

يتم إكمال كل طبقة قبل البدء فى الطبقة التالية توضع كل طبقة بسمك محدد ومنتظم مع تسوية سطحها العلوى ومحاذاته مع العلامات على السطح الداخلى للمرشح. عند وضع الطبقة التالية يراعى أحداث تدخل مع الطبقة السفلى.

\* بالنسبة لرمال الترشيع أو حبيبات الفحم الذى يوضع بالطريقة الرطبة فإن المادة توضع خلال الماء ثم يتم الغسيل العكسى للتسوية ولمواجهة التمدد الأولى للطبقة نتيجة تفكك الحبيبات فإن منسوب السطح العلوى قبل الغسيل الأولى يجب أن يكون أسفل المنسوب النهائى بنسبة ١٠% من سمك الطبقة. منسوب السطح العلوى لكل طبقة يتم مراجعته على المرشح بالماء إلى المنسوب الذى تم تحديده مسبقا داخل سطح المرشح.

\* بعد وضع كل طبقات الزلط وقبل وضع طبقات الرمل أو طبقات حبيبات الفحم يتم غسيل المرشح لمدة ٥ دقائق بأعلى معدل وبما لا يزيد عن ٢٥ جالون فى الدقيقة / القدم المربع من مساحة سطح المرشح ويمكن إلغاء هذا فى حالة عدم وجود أجسام غريبة أو ملوثات.

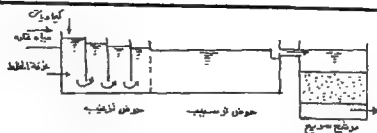
\* فى المرشحات ذات الوسط الترشيعى المزدوج أو الثلاثى فإن كل مادة يتم غسلها وكشطها لإزالة الأجسام الصغيرة قبل وضع الطبقة التالية مع ملاحظة أن السطح العلوى لمادة الترشيع وبعد الغسيل الأولى يلزم أن يكون منسوبها أعلى من المنسوب المحدد بما يعادل سمك الطبقة المزالة بالكشط.

### الغسيل الأولى :

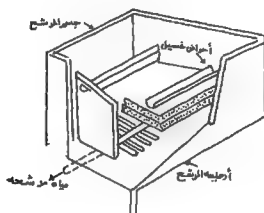
بعد وضع كل مواد الترشيع يتم إدخال مياه الغسيل ببطيء لأعلى من نظام للتصريف السفلى حتى غمر كل الوسط الترشيعى ويتم مكوث المياه لتتبع الوسط الترشيعى لمدة لا تقل عن ١٢ ساعة ويتم التدرج فى معدل الغسيل بفرض طرد

الباب الرابع: التلخيص من المواد المعلقة بالتشريع

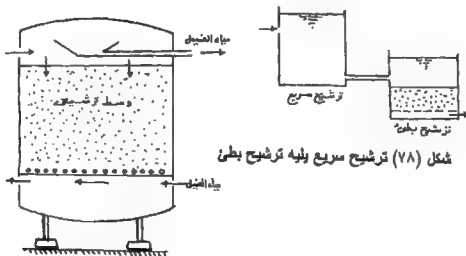
الهواء من الوسط الترشىحى. بعد الغسيل الأولى يتم تصريف المياه من المرشح ثم يتم إزالة طبقة من الأجسام الصغيرة حوالى ٤-٥ من سطح المرشح بالكشط يتم غسيل المرشح ما لا يقل عن ثلاث مرات لكل مرة لا تقل عن ٥ دقائق وأن يكون الغسيل متزامنا مع تشغيل مرشح آخر لتوفير مياه الغسيل. بعد تنفيذ الخطوات السابقة يتم تطهير الوسط الترشىحى بالكلور بجرعة عالية ٢٠ جزء فى المليون أو أن يتم التطهير بإضافة هذه الجرعة إلى مياه الغسيل الأولى.



شكل (٧٦) الترشيح السريع بعد الترويب والترسيب

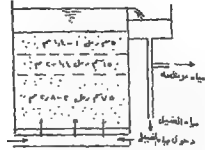
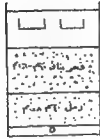


شكل (٧٧) مرشح سريع يعمل بالجاذبية



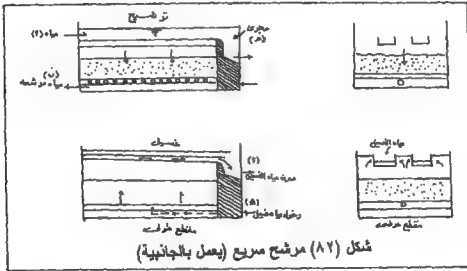
شكل (٧٨) ترشيح سريع يليه ترشيح بطيء

شكل (٧٩) مرشح يعمل بالضغط

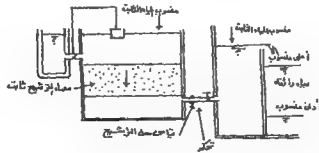


شكل (٨١) وسط ترشيحي مزدوج

شكل (٨٠) مرشح للتدفق الطولي

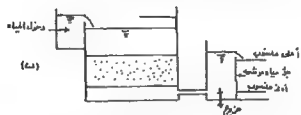
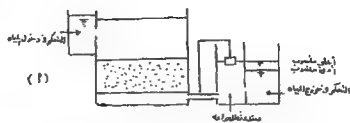


شكل (٨٢) مرشح مربع (يعمل بالجاذبية)

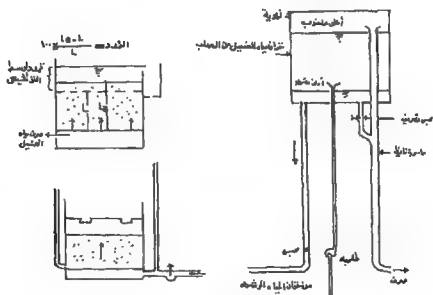


شكل (٨٣) التحكم في معدل الترشيح





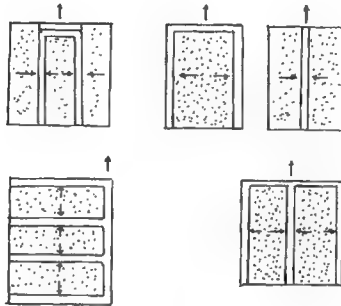
شكل (٨٤) التحكم في المرشح (الطرق أ، ب، جـ)



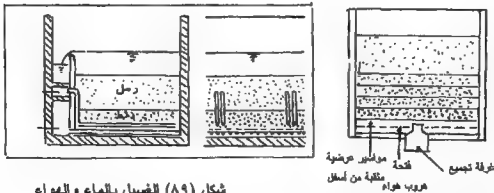
شكل (٨٥) خزان مياه الفيضيل



شكل (٨٦) التدفق في حوض مياه الغسيل

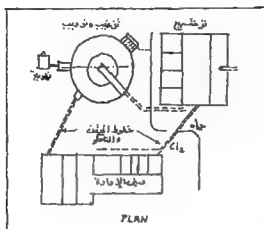


شكل (٨٧) تنظيم أحواض المياه لغسل الرمال

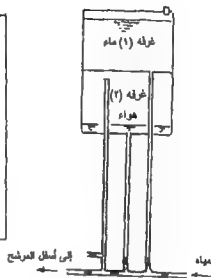


شكل (٨٩) الغسيل بالماء والهواء

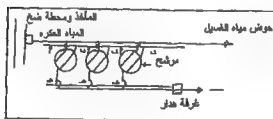
شكل (٨٨) نظام الصرف السفلي



شكل (٩١) مخطط عام لمحطة مرشحات



شكل (٩٠) التفصيل بالماء والهواء



شكل (٩٣) مخطط عام للمرشحات السريعة

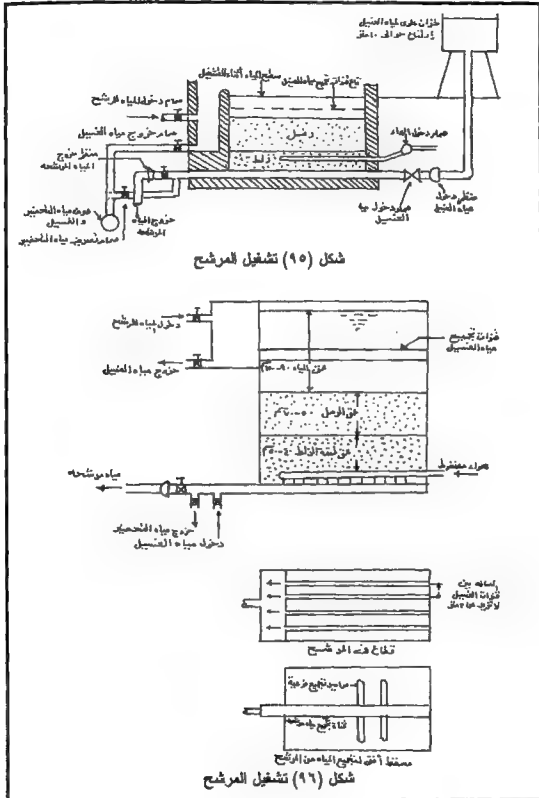


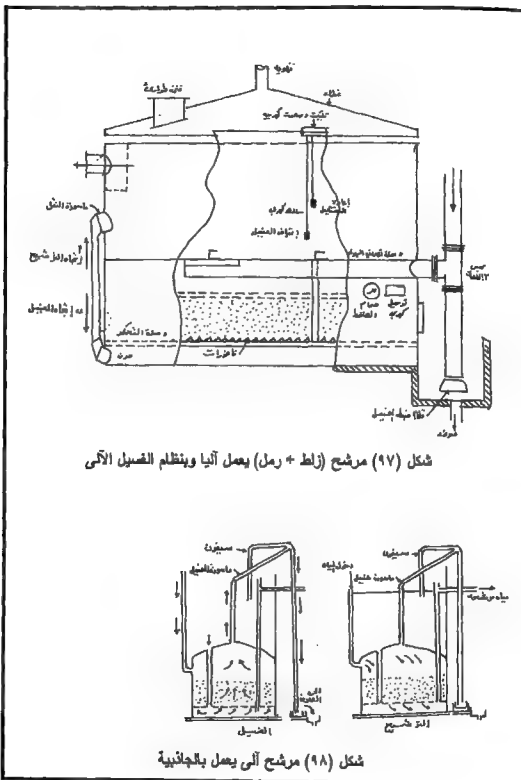
شكل (٩٢) فني البلاستيك لتجميع

للمياه من قاع المرشحات

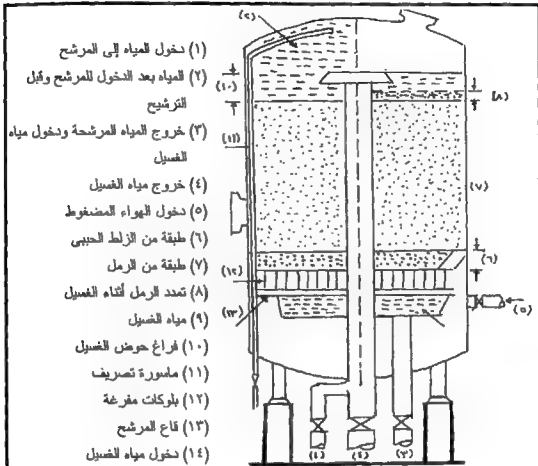


شكل (٩٤) مرشح زلط أفقي

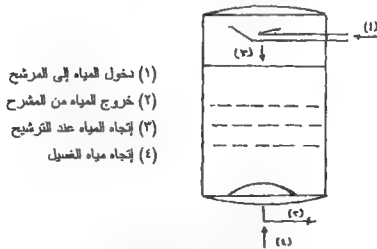




شكل (٩٨) مرشح آلى يعمل بالجابنية



شكل (٩٩) مرشح يعمل تحت ضغط



شكل (١٠٠) استخدام الكربون المنشط في الترشيح

## الباب الخامس

### المعالجات الخاصة





## الباب الخامس

### المعالجات الخاصة

#### القسم الأول

#### إزالة العسر

#### (Hardness Removal or Softening)

عسر المياه هو الخاصية التي تمنع تكون الرغوة عند استخدام الصابون بما يزيد من استهلاك الصابون عند استخدام المياه العسر. كذلك توجد علاقة بين عسر المياه و امراض القلب. حيث قيمة العسر فى المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى هى ٨٥ جزء فى المليون. الطرق الأساسية لإزالة عسر المياه هى بالترسيب الكيماوى أو بالتبادل الأيونى.

#### - الترسيب الكيماوى:

يستخدم الترسيب الكيماوى فى معالجة المياه لإزالة العسر وإزالة الحديد والمنجنيز. وهو مؤثر كذلك فى إزالة المعادن الثقيلة والعناصر المشعة فى حالة وجودها وكذلك إزالة المواد العضوية المذابة وخفض البكتيريا والفيروسات.

عسر المياه يكون غالباً بسبب وجود مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم المذابة في المياه. وبعض العسر يرجع إلى وجود الامترنشيوم والحديد والمنجنيز. وهذه العناصر تكون موجودة في شكل البيكربونات والكبريتات. وفي بعض المياه توجد في شكل الكلوريدات والنترات.

ويسمى العسر بعسر الكربونات في حالة وجود أملاح العسر في شكل البيكربونات أما عسر الغير كربونات فتكون هذه الأملاح في شكل الكلوريدات أو الكبريتات أو النترات. وكذلك يسمى عسر الكربونات بالعسر المؤقت وعسر الغير كربونات بالعسر المستديم.

\* عند إضافة الجير المطفى إلى الماء المحتوى على عسر مؤقت تحدث التفاعلات التالية :



كلا من كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنيسيوم لا يذوب ويرسب.

تستخدم هذه الطريقة فقط في إزالة أو تقليل عسر المياه المؤقت وخاصة في حالة تخفيض عسر المياه في مياه الشرب ليكون ٨٥-١٢٠ جزء في المليون مقيم ككربونات كالسيوم. أما في حالة وجود العسر المؤقت والعسر المستديم في الماء. فإن إزالة العسر أو خفضه يتم بطريقة إزالة العسر المستديم كما في حالة إزالة عسر المياه لإنتاج مياه الغلايات. ومن بين الطرق المستخدمة طريقة الصودا آش - الجير، التبادل الأيوني، إزالة الملوحة.

## إزالة العسر بطريقة الجير-الصودا على البارد :

### Cold Lime - Soda Softening

إزالة العسر بطريقة الجير - للصودا هي عملية تتم بالترسيب الكيميائي لعسر الكالسيوم والمغنيسيوم من الماء باستخدام الجير المطفئ  $\text{Ca(OH)}_2$  والصودا آش  $(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  وتختلف عملية إزالة العسر طبقاً لحالة المياه الخام ومتطلبات الاستخدام للمياه المعالجة.

في بعض الحالات يكون المطلوب هو المعالجة الجزئية فقط. ففي حالة مياه الشرب يتم إزالة العسر حتى ٨٥ جزء في المليون من العسر الكلي فقط. كثير من المياه المستخدمة في العمليات الصناعية تتطلب خفض قلوية الكالسيوم حتى ٣٥ جزء في المليون فقط. المياه الغازية تتطلب عادة خفض للقلوية إلى ٥٠ جزء في المليون. وفي بعض الحالات يكون من الضروري إزالة العسر بدرجة كبيرة. وفي هذه الحالة تتم المعالجة الكاملة لخفض ما أمكن للمحتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم سواء كانت في شكل عسر كربونات أو عسر غير كربونات أو خليط منهما بدون استخدام كيماويات إضافية. وفي حالات أخرى فإن عملية إزالة العسر قد تتم بمعالجة كيماوية إضافية لخفض العسر عن الناتج بالمعالجة الكاملة.

### - الكيماويات المستخدمة في إزالة العسر:

المياه يمكن إزالة عسرها مهما كان محتواها الكيماوي باستخدام خليط من مختلف الكيماويات الآتية:

\* مروب الشبة (كبريتات الألومنيوم) أو باستخدام مروب كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحد يدك.

\* الجير المطفئ  $\text{Ca(OH)}_2$  بشرط أن يكون نقاءه ٩٣% في عملية الجير - الصودا على البارد.

\* الصودا آش  $(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  بنسبة نقاء ٩٩,٢%.

\* كلوريد كالسيوم.  $\text{CaCl}_2$  و هو يستخدم عندما تكون القلوية لكبر كثيراً من العسر.

**كيمياء إزالة العسر:**

كلا من هذه الكيماويات له مهمة معينة عند إضافة للماء، مع الخلط الجيد ثم إعطاء الوقت اللازم للتفاعل. ولتنفيذ ذلك يجب الحساب الدقيق للجرعات من واقع تحليل المياه. ولهذا فإن تحليل المياه يعتبر هام. من المناسب توضيح إن أيون البيكربونات يتفاعل أولا مع الكالسيوم ثم بعد ذلك مع المغنيسيوم. فعند إضافة الجير فإنه يتفاعل مع الكالسيوم ثم مع استمرار الإضافة من الجير يحدث التفاعل مع المغنيسيوم. الشكل رقم (١٠١) يوضح التعاريف لمحتويات الماء الكيماوية.

يتم أولا حساب القلوية كما لو كانت مرتبطة بالكالسيوم والمغنيسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم (Calcuim Alkalinity). وفي حالة وجود قلوية أكثر يتم حسابها كما لو كانت مرتبطة بالمغنيسيوم وتسمى قلوية المغنيسيوم. في عدد قليل من المياه الطبيعية قد يكون هناك زيادة في القلوية أكثر من قلوية الكالسيوم والمغنيسيوم. في هذه الحالة يتم حسابها على أساس ارتباطها بالصوديوم وتسمى قلوية الصوديوم. في حالة القلوية أقل من إجمالي عسر الكالسيوم والمغنيسيوم الموجود، عندئذ فإن كمية العسر للأذن عن القلوية يسمى عسر الغير كربونات. عسر الغير كربونات عموما يعنى العسر المرتبط بأيونات الكلوريدات والكبريتات.

**• المروبو Coagulant:**

عند ترسيب العسر، فإنه يكون في شكل ترسيبات دقيقة جدا بما يجعل من الضروري استخدام جرعات صغيرة من المروبات للحصول على زغبات والترسيب وتعتبر الجرعات الآتية مناسبة:

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| ٢٠ جزء في المليون | الشبة            |
| ٢٠ جزء في المليون | كبريتات الحديدوز |
| ١٠ جزء في المليون | كبريتات الحد يدك |

نظرا لأن المروب يتفاعل مع القلوية الموجودة في الماء فإنه تتكون زغبات جيلاتينية التي تكبر في الحجم حتى ترسب. وهذه الزغبات لها القدرة على جرب وحجز الأجسام العالقة وفصلها عن المياه. وتفاعلات المروبات هي نفسها التي تحدث عند إزالة العكارة واللون.

### • الجير المطفئ:

يتفاعل الجير المطفئ للترسيب الكيميائي لعسر الكربونات الموجودة في الماء لإنتاج المركبات الغير مذابة من كربونات الكالسيوم وأيدر وكسيد الماغنسيوم. وتختلف الجرعة المطلوبة طبقا للقلوية في المياه الخام. كذلك يتفاعل الجير المطفئ مع أي من ثاني أكسيد الكربون الموجود وعندئذ مع أيون الليكربونات. الكميات المطلوبة يمكن حسابها من المعادلات الكيميائية للتفاعل.



يلاحظ أنه مطلوب ضعف الجير المطفئ لترسيب المغنيسيوم مقارنة بالمطلوب لترسيب الكالسيوم. بمجرد تحول كلا من ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات إلى كربونات الكالسيوم، فإن أي جير مطفئ إضافي ينتج عنه خفض في المواد الصلبة المذابة.

### • الصودا آش : $(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ :

يتفاعل الصودا آش مع عسر الغير كربونات منتجة راسب غير مذابة. يلزم مكافئ من الصودا آش + مكافئ من الجير المطفئ للمكافئ من عسر الغير كربونات للمغنيسيوم.



يلاحظ انه في التفاعلات السابقة لا يحدث خفض في المواد الصلبة المذابة نظرا لإنتاج أملاح صوديوم مذابة.

#### • كلوريد الكالسيوم:

أحيانا يكون هذا المركب مطلوب لخفض القلوية لقيمة مطلوبة. حيث يستخدم كلوريد الكالسيوم في الحالات الآتية:

عندما تزيد قلوية المغنيسيوم عن ١٥ جزء في المليون وإن عسر المغنيسيوم ناقص قلوية المغنيسيوم = أقل قيمة من ٤٠ جزء في المليون. في حالة وجود قلوية الصوديوم. عموما المياه الطبيعية لا تحتوي على قلوية الصوديوم عدا في حالة وجود قلوية المغنيسيوم. السبب في استخدام كلوريد الكالسيوم هو أن كلاً من كربونات المغنيسيوم والصودا أ.ش. يذوب في الماء، ومن ثم لا يرسب من الماء بالجير المطفئ أو للصودا أ.ش. ولكن يتفاعل مع الصودا أ.ش. كالآتي:



يلاحظ انه عند خفض قلوية كربونات المغنيسيوم، لا يحدث انخفاض في العسر.

كلوريد المغنيسيوم المتكون يتطلب مكافئ إضافي من الصودا أ.ش. والجير المطفئ (نظرا للتفاعلات بخصوص الصودا أ.ش.).







## القسم الثاني

### التبادل الأيوني: Ion Exchange

التبادل الأيوني بالراتجات المخلفة (Synthetic Resins) أو بالأدماصص علي الألوينا المنشطة (Activated Alumina) يستخدم في إزالة العسر للمياه وذلك في حالة عدم قدرة للمعالجة التقليدية. ويكون مفضل عن إزالة العسر بالجير لسهولة التشغيل وقلة التكلفة الرأسمالية. ويعتبر للتبادل القاعدي (الكاتأيوني) أو التبادل الحمضي (الآن أيوني) أكثر مناسبة لمصادر المياه الملوثة بأيونات سامه أو مواد مشعة مثل الباريوم، والزرنيخ، والكروم، الفلوريد، والنترات، والراديوم، واليورانيوم. وتستخدم الألوينا المنشطة لإزالة الفلوريد والزرنيخ من المياه. وتعتبر وحدات التبادل الأيوني والادماصص اللاعضوي أكثر تكلفة في الإنشاء والتشغيل لإزالة نوع واحد من الملوثات. كما يعتبر للتبادل الأيوني إقتصادي في حالة ثبات نوعية المياه المعالجة مثل مياه الآبار وغير مناسب لمصادر المياه السطحية للمتنيرة.

يتكون المبادل الأيوني من طبقة من حبيبات راتج المبادل الأيوني المشبعة بأيون التبادل أو بحبيبات الألوينا المنشطة التي تمتلك سطح أيدر كسيد قابل للتبادل. والعوامل التي يلزم مراعاتها في التبادل الأيوني أو الادماصص الغير عضوي هو المعالجة المسبقة للمياه لمنع التراكمات في طبقة التبادل الأيوني بالمواد الصلبة العالقة والرواسب والنمو البيولوجي وذلك مع أهمية اختيار مواد الإنشاء المناسبة لتداول المياه العدوانية ومجال للتنشيط الأيوني والمحاليل الناتجة بعد التنشيط.

إن جدوى واستخدام راتنجات التبادل الأيوني أو الالمصاص الغير عضوي سيزداد لإزالة الملوثات من مياه الشرب حيث يزال الراديوم والنترات والفلوريد والزرنيخ والباريوم وخاصة بالنسبة لاحتياجات المياه للتجمعات الصغيرة.

## ١- نظرية عمل التبادل الأيوني:

يحدث التبادل الأيوني عند استبدال أيون بأخر. وعند تطبيق ذلك في معالجة المياه فإنه يعني تبادل عكسي بين المسائل والصلب، مع عدم حدوث أي تغيير في حالة المادة للصلبة. يمتلك الجسم الصلب أيونات التي يمكن أن يبادلها بأخر. التبادل القاعدي أو الكاتأيوني هو استبدال أيون موجب أو كاتأيون بأيون موجب آخر. في المياه الطبيعية الكاتأيونات الموجودة عادة هي الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والهيدروجين والحديد والمنجنيز. أما التبادل الآن أيوني أو الحامضي فيحدث عند استبدال أيون سالب أو أن أيون بأن أيون سالب آخر. الآن أيونات الموجودة عادة في المياه الطبيعية هي الكلور يد والكبريتات والنترات والكربونات والاييدروكسيد والفلوريد.

## التبادل القاعدي (الكاتأيوني) أو الزيوليت:

وتعتمد هذه الطريقة على قدرة مادة صلبة غير مذابة (أساسا سيليكات) لتبادل الكاتأيون مع مواد أخرى مذابة في الماء. حيث يمرر الماء العسر خلال طبقة من رمل الزيوليت (سيليكات مركبة من الألومنيوم والصوديوم): وعند المرور خلالها يتم استبدال كاتأيونات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم من المبادل وتصبح المياه عسر. وعند استهلاك الصوديوم من رمل الزيوليت لا يصبح قادر على إزالة العسر من المياه. ولكن للتفاعل عكسي حيث يمكن إعادة النشاط للزيوليت بتمرير محلول ملح خلال طبقة للزيوليت. الزيوليت (Zeolites) يمكن أن يبادل أيون الصوديوم أحادي التكافؤ بأيونات ثنائية التكافؤ. ويرمز له ( $\text{Na}_2\text{R}$ ) حيث R رمز للجزء الصلب من الزيوليت.

يوجد نوعين من الزيوليت إحداهما هو الرمل الأخضر الطبيعي الغير مسامي (Natural Nonporous Green Sand) والنوع الآخر هو الزيوليت المخلوق الجيلاتيني المسامي (Synthetic Porous Gel Type). والزيوليت الطبيعي ينتج بمعالجة (Neutralization) للرمل الأخضر الطبيعي. أما الزيوليت المخلوق فيتم اعداده بخلط محلول سيليكا الصوديوم مع كبريتات الألومنيوم أو ألومينات الصوديوم (Sodium Aluminate). ورائجات المعادلات للكاتيونية هي بلمرات عضوية مخلقة عادة من نوع سالفونيت بولي إسيترين (Sulfonate Polystyrene).

رائجات المعادلات الان أيونية (الحامضية) عبارة عن بلمرات عضوية تتكون من الامينات (amines) ومركبات الألومنيوم الرباعية. (Quarternary Ammonium Compounds) ويمكن تنشيطها باستخدام أي قلوى مثل الصودا الكاوية. ومبادلات الفلوريد هي مبادلات أن أيونية والتي تتكون من ثلاثي فوسفات الكالسيوم (Tricalcium Phosphate).

الذي يزيل الفلوريد بالتبادل الايوني . وأثناء دورة إزالة العسر العادية.

### ٣- طرق إزالة العسر بالتبادل الايوني: شكل (١٠٣، ١٠٤)

توجد ثلاث طرق لإزالة العسر بالتبادل الايوني. وهي دورة الصوديوم (Sodium Cycle) والمعالجة الجزئية (Split Treatment) والتحلية (Demineralization). والطريقة الرئيسية هي طريقة دورة الصوديوم. وإزاله العسر بهذه الطريقة تتكون أساسا بتمرير المياه العسر خلال طبقة من المبادلات الكاتيونية (Cation Exchange Resin) وهنا تزال مكونات العسر للماء من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم واستبدالها بأيونات الصوديوم. معدل التبادل سريع بما يمكن من إزالة العسر من أي مياه بمعدل تنفق طبيعي.

التفاعل الذي يحدث في التبادل الكاتيونية لإزالة العسر للمياه وفي عملية التنشيط (Regeneration) يمكن توضيحها بالمعادلات الكيماية حيث يمثل المكون أن أيون (الحامض) من المبادلات الايوني بالرمز R.



عند إعادة تنشيط (Regeneration) للمبادل الكاتيوني يحدث التفاعل العكسي كالآتي (باستخدام الملح).



وحدة إزالة العسر بالزيوليت تشبه في إنشاءاتها ومظهرها المرشح الرملي الذي يعمل بالضغط أو بالتدفق الجانبية، إلا أنها مملوءة بطبقة من الزيوليت بدلا من الرمل. وهي تتكون من جسم من الصلب قاعه يحتوي على زلط متدرج في الحجم أو الفحم النباتي تعلوها طبقة الزيوليت وتكون عادة بمسك ٧٥سم أو أكثر. يضاف إلى ذلك حوض لمحلول الملح للتنشيط مع التوصيلات والأجهزة اللازمة.

مزيلات العسر تعمل بالضغط أو بالجانبية، وأجهزة إزالة العسر بالجانبية تكون من الخرسانة أو الصلب. مزيلات العسر بالضغط تعمل بالتدفق العلوي أو السفلي. والتفقد في الضغط نتيجة التدفق السفلي يمكن التغلب عليه أثناء دورة إزالة العسر. كثيرا من أجهزة إزالة العسر تستخدم الجانبية مع التمرير العلوي للمياه في رحلة إزالة العسر مع التمرير السفلي للمحلول الملحي للتنشيط. وبعد تمام دورة إزالة العسر يتم عمل الغسيل لطبقة الزيوليت (Back - Wash) وذلك لتفكك طبقة الزيوليت، وهذه تزيل أي أجسام أو مواد تكون متراكمة على سطح جيبيات الطبقة

وتجعلها أكثر تفتح لتقبل دورة للتنشيط بالماء الملحي، وذلك بمنع عمل مسارات محددة فقط للمياه المالحة في طبقة الراتينج.

وفي عملية إزالة العسر بالضغط تتم للتغذية بالمياه المالحة (Brine) بمعدل تتفق يتم التحكم فيه، وتوجد تقنيات كثيرة لتحقيق ذلك. وفي بعض أجهزة إزالة العسر الصغيرة يتم التنشيط بوضع ملح صخري نقاوه ٩٩% كلوريد صوديوم أعلا طبقة الراتنج، ثم تمرر المياه بمعدل ثابت خلال الملح لانتاج مياه مالحة بتركيز مناسب وبعد استخدام المياه المالحة في جهاز إزالة العسر يتم إزالة كل الفائض من المياه المالحة قبل عودة جهاز إزالة العسر إلى الاستخدام. ونظرا للكثافة العالية للمياه المالحة فإنها تتحرك إلى أسفل الطبقة في شكل مكبس عند استمرار الغسيل بالمياه النظيفة لدفع المياه المالحة خلال طبقة الزيوليت حتى خارج الجهاز. يستمر الغسيل حتى تخلص الجهاز من الكميات الكبيرة من كلوريد الكالسيوم مع كلوريد الصوديوم الذي لم يتفاعل وعودة الجهاز إلى العمل بعد تنشيط الزيوليت. وأفضل طريقة لإزالة الكلوريدات هو زيادة الشطف (الغسيل) خمس مرات. ولقد أظهرت الخبرة أن أقصى تركيز للمياه المالحة المستخدمة في التنشيط هو ١٠ - ١٥%. وقد تستخدم مياه البحر في تنشيط للمبادلات الكاتيونية (القاعدية) ولكن يلزم أن تكون هذه المياه خالية من المواد الصلبة و / أو الحديد والمنجنيز المذاب. كما يلزم أن تكون خالية من العفن الذي ينتج كائنات دقيقة (Slime Producing Bacteria) وقد يتم تطهير مياه البحر في بعض الحالات بالكلوريد ثم للترشيح في مرشح رملي لمنع تلوث راتينج الزيوليت. إزالة العسر براتنج الزيوليت يزيل العسر كاملا للمياه شديدة العسر وذات محتوى قليل من السليكا. لا يسمح بدخول المياه العكورة إلى الجهاز والمرور خلال طبقة الزيوليت نظرا لأن الرواسب المتركة ستغلف حبيبات الزيوليت و تخفض الكفاءة.

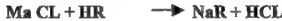
جهاز إزالة العسر بالزيوليت يتطلب صيانة بسيطة وهو سهل التشغيل.

### ٣- إزالة الأملاح بالتبادل الأيوني : (Demineralizarion)

إزالة الملوحة تتم بهدف إزالة الأملاح بالتبادل الأيوني. فيمكن التخلص من إزالة الأملاح لدرجة أكبر من التي يمكن الحصول عليها بالتقطير. في هذه الحالة فإن الشق القاعدى فى (الكاتايونات) مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم تزال فى مبادل قاعدى هيدروجينى (Hydrogen Cation Exchanger). والشق الحامض (الآن أيونات) مثل الكبريتات والكلوريد تزال فى مبدل أن أيونى (حامضى) (Anion Exchanger).

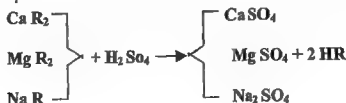
#### أ- المبادل القاعدى (الكاتايونى) : Cation Exchanger

عند مرور المياه خلال راتنج (Resin) يحتوى على مبادل قاعدى (كاتايونى) مثل مجموعات حامض السلفونيك (Sulphonic Acid Groupings). عندئذ يحدث تبادل للكاتايونات فى الماء بالهيدروجين فى الشق الحامضى للراتنج وبدا تتحول الأملاح الموجودة فى الماء إلى الأحماض لهذه الأملاح. المعادلات التالية توضح التفاعلات. يرمز لمادة التبادل القاعدى (الكاتايونى) بـ HR



ومثل كل تفاعلات التبادل الأيوني فإن هذه العملية عكسية (Reversible). فعند استهلاك الراتنج يمكن إعادة تنشيطه باستخدام محلول مخفف من حامض قوى (Strong Mineral Acid). وعملية التنشيط توضحها المعادلة التالية.

إعداد المياه للشرب



الحامض المتبقى فى المياه المعالجة جزئيا يلزم إزالته فى المبادلات الآن أيونية (الشق الحامضى).

### ب- المبادلات الآن أيونية : (Anion Exchangers)

تمرر المياه الحامضية خلال طبقة راتنج محتوى على راتنج يحتوى على مجموعات قلوية قوية أو ضعيفة. المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية (Weakly Basic) سوف تمتص الكبريتات والكلوريدات والنترات، ولكن لا تمتص السيليكات أو ثانى أكسيد الكربون. المبادل ذو الآن أيون أو القاعدى القوي يزيل السيليكات و الكبريتيد (Sulphide) وثانى أكسيد الكربون بالإضافة إلى الآن أيونات العادية الأخرى. المعادلات التالية يمكن أن توضح كيفية عمل المبادل القاعدى (الآن أيونى).

مبادل قاعدى ضعيف القلوية :



مبادل قاعدى قوى القلوية :



وفى كل حالة الأملاح المذابة الموجودة فى الماء تزال.

التنشيط (Regeneration) لراتنج المبادل الآن أيونى سيتم بتمرير محلول مخفف لقلوى قوى مثل للصودا للكاوية خلال طبقة الراتنج الذى استهلك نشاطه. التفاعلات هي:

مبادل أن أيونى ضعيف القلوية



مبدل أن أيونى قوى القلوية



كما ذكر سابقا، فإن المبادل للقاعدى شديد القلوية يمكن أن يزيل الآن أيونات لكل من الأحماض القوية والضعيفة. ولكن عادة مكلف وله قدرة محدودة على التبادل عن المواد ضعيفة القلوية. ولهذا، فإنها تستخدم على نطاق واسع لإزالة أحماض السيليكا (Silicic Acid) فى المرحلة الثانية لعملية إزالة الأملاح. ولهذا تستخدم مجموعتين من المواد عند الحاجة الى الإزالة الكاملة للأملاح (Demineralization).

### ج- طبقات الراتنج القاعدية والحامضية : Mixed Beds

فى حالة تمرير المياه التى عولجت بنظام للتبادل للقاعدى والحمضى خلال وحدتين متتابعتين تعملان على التوالى، عندئذ يمكن زيادة التحسن فى نوعية المياه. فى جهاز الطبقة المزوجة والتى تشمل خليط من راتنج المبادل الكاتايونى والأن أيونى. عندئذ فإن عدد لا نهائى من الكاتايونات والأن أيونات تعمل بالتنازى، والنتيجة هو الحصول على مياه معالجة ذات نوعية عالية.



## ٤- معدات واستعمالات إزالة الملوحة :

تستخدم عملية إزالة الملوحة من المياه وذلك لتوفير المياه اللازمة للتعويض (MakeUp Water) وخاصة في حالة المياه الخالية تماما من الأملاح المذابة للغلايات ذات الضغط العالي. هذا بالإضافة الى استخدام هذه المياه في المنتجات الدوائية والكيميائية وبعض عمليات في صناعة المنسوجات وفي تضييض الزجاج (Silvering) وفي بعض عمليات الترسيب الكيماوى الكهربى. المعدات المستخدمة في إزالة الأملاح تشابه تلك المستخدمة في إزالة العسر بالزيوليت، حامض الكربونيك الناتج من المبادل الكاتايونى (القاعدى) غير ثابت في محلول الماء يتحلل إلى الماء وثانى أكسيد الكربون الذى يمكن أن يزال بعملية إزالة الغازات (Degasification). الجهاز المستخدم في إزالة الأملاح المذابة شكل (١٠٣).

## ٥- إزالة القلوية : Dealkilation

المياه التى أزيل عسرها باستخدام زيوليت الصوديوم عادة تحتوى على كمية كبيرة من بيكربونات الصوديوم زيادة عن المقبول في مياه تغذية الغلايات. فى الغلايات تتحلل بيكربونات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة الى أن بعض كربونات الصوديوم تتحلل الى الصودا الكاوية وثانى أكسيد الكربون. وثانى أكسيد الكربون هذا يمر مع البخار ويشكل مصدر وسبب للتآكل فى شبكة البخار. والفائدة من عملية إزالة القلوية تقع على خفض قلوية البيكربونات فى المياه المعالجة بدون استخدام حامض. وفى وحدة إزالة القلوية يستخدم راتنج أن أيونى عالى القلوية. عند مرور المياه فى خلال الراتنج فإن أملاح الصوديوم المذابة مثل بيكربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم تتحول الى الكمية المكافئة من كلوريد الصوديوم. تفاعلات مبادل الكلوريد القاعدى كالاتى:

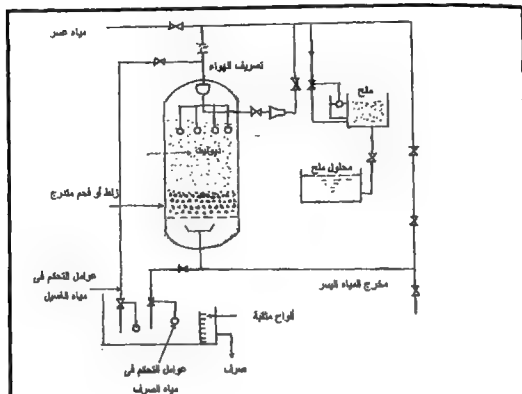


يتم التنشيط للراتنج باستخدام كلوريد الصوديوم كالآتي :

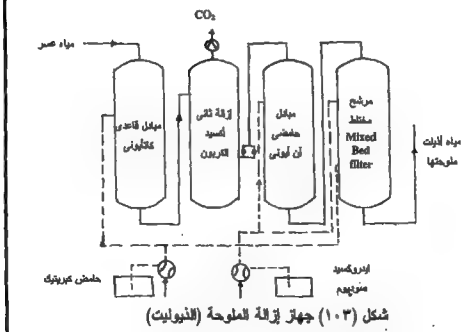


مبادل القاعدي بالكوريد (Chloride Anion Exchanger) يشبه في إنشائه جهاز زيوليت الصوديوم ومجهز بنفس التجهيزات اللازم للتنشيط يوصي بسمك طبقة الراتنج من ٧٥ - ٩٥ سم. مع إزالة القلوية فإن الأملاح الكلية المذابة تقل بنسبة عسر القلوية (Alkaline Hardness). الجدول التالي (١٣) يوضح مثال تقريبي لنوعية المياه بعد عمليات المعالجة المختلفة لإزالة العسر على عينة من الماء العسر والأرقام بالجزء في المليون.

| طرق المعالجة              | العسر |          | ميكا | أملاح<br>الصوديوم | الأملاح<br>الكلية |
|---------------------------|-------|----------|------|-------------------|-------------------|
|                           | قلوي  | غير قلوي |      |                   |                   |
| الماء الخام               | ٢٠٠   | ٥٠       | ١٠   | ٥٠                | ٣١٠               |
| الجير                     | ٣٠    | ٥٠       | ٨    | ٥٠                | ١٣٨               |
| الجير - الصودا            | ٣٠    | صفر      | ٨    | ١٠٠               | ١٣٨               |
| الجير - الصودا - الزيوليت | ٥     | صفر      | ٨    | ١٢٥               | ١٣٨               |
| الزيوليت                  | ٥     | صفر      | ١٠   | ٢٩٥               | ٣١٠               |
| إزالة القلوية             | ٥     | ٥٠       | ١٠   | ٥٠                | ١١٥               |
| الزيوليت + إزالة القلوية  | ٥     | صفر      | ١٠   | ١٠٠               | ١٢٥               |
| إزالة الأملاح             | ١     | صفر      | أقل  | ٢                 | ٣                 |



شكل (١٠٢) إزالة الحديد بالذبوليت



شكل (١٠٣) جهاز إزالة للملوحة (الذبوليت)



## القسم الثالث

### التهوية : Aeration

التهوية هي عملية الألتصاق بين الماء والهواء بغرض زيادة الأكسجين المذاب في الماء وتقليل ثاني أكسيد الكربون المذاب وإزالة كبريتيد الهيدروجين وبعض المركبات العضوية المسببة للمذاق والرائحة. مذاق المياه وقابليتها للشرب بتحسين بإزالة الأكسجين في الماء وإزالة كبريتيد الهيدروجين. وإن كان إزالة ثاني أكسيد الكربون يحول البيكربونات الي كربونات بما يسبب تكون راسب من كربونات الكالسيوم التي قد تسبب بعض المشاكل. تستخدم التهوية علي نطاق واسع لمعالجة مياه الأبار المحتوية علي نسب عالية من الحديد والمنجنيز. وهذه المواد تسبب المرارة في المذاق للمياه كما تسبب التغير في لون الأرض عند أعداده للطعام وكذلك تكون بقع سوداء عند استخدام هذه المياه في غسيل الأتية والملابس. وعند التصاق أكسجين الهواء الجوي بالماء في عملية التهوية فإنه يتفاعل مع مركبات الحديد والمنجنيز ثنائية التكافؤ المذابة في الماء (Ferrous & Manganous) وتحول الي الأكاسيد ثلاثية التكافؤ للغير مذابة (Ferric & Manganic) وهذه يمكن إزالتها بالترسيب والترشيح.

درجة تشبع المياه للملحمة للهواء الجوي المشبع ببخار الماء عند منسوب سطح البحر، وفي درجة حرارة ١٠ م وضغط جوي واحد هو: نيتروجين ١٧،٩ ملجرام / لتر، أكسجين ١١،٤ ملجرام / لتر، ثاني أكسيد الكربون ٠،٧ ملجرام / لتر وقد استخدمت التهوية لأزالة الملوثات من المواد العضوية المتطايرة من الماء

والتي هي من مسببات بعض الأمراض. وفي محطات المعالجة عند التصاق الماء بالهواء لإزالة مادة من الماء تسمى هذه العملية الكسح (Stripping Or Disorbtion) والتي حد ما استخدمت التهوية لنقل غاز الي الماء وهذه العملية تسمى الأمتصاص (Adsorbion) مثال ذلك إضافة أكسجين الهواء الجوي الي الماء أو إضافة الأوزون الي الماء والعملية كلها تسمى التصاق المياه بالهواء لنقل الغازات ما بينهما. وكلمة غاز هنا معناها المواد التي تكون في الحالة الغازية في درجة الحرارة العادية والضغط للعادي، وكذلك المركبات التي تكون في حالة السوائل المتطايرة. وفي أي الحالات فإن للنقل يكون في الشكل الغازي. ولتحقيق الانتقال فإنه يلزم وجود تدرج في تركيز الغاز ما بين السائل (الماء) والهواء الجوي، حتي الوصول الي حالة الأتزان (Equilibrium) ما بين الماء والهواء وعندئذ ولا يحدث انتقال.

## ١- نظرية إنتقال الغازات : (Theory Of Gas Transfer)

### الإتزان : Equilibrium

عند مناقشة كمية الغاز أو المعدل الذي ينتقل به الغاز من والي الماء فانه يلزم الأخذ في الاعتبار الغازات التي تنوب في الماء والعوامل التي تؤثر علي إذابتها. توجد غازات تتفاعل مع الماء مثل كبريتيد الهيدروجين والنشادر وثاني أكسيد الكربون وغازات لا تتفاعل مع الماء مثل الأكسجين والميثان والكلوروفورم. في حالة عدم حدوث تفاعل فإن إذابة الغاز في الماء يتم بطاقة ديناميكية حرارية تسمى الأنتروبي (Entropy) مثل حالة الأكسجين. والماء. والزيادة في قوة الأنتروبي تقاوم بقوة للجذب بين جزيئات الماء ببعضها البعض. ويمكن زيادة الغاز في الماء فإنه يلزم التغلب علي قوة الجذب لجزيئات الماء لبعضها ولقد عرف أن جزيئات الماء تتجذب لبعضها بواسطة الرابط الهيدروجيني (Hydrogen - Bonding) ولزوبان الغازات في الماء فإنه يجب أن يكون أكثر إنجذابا بالماء من انجذاب جزيئات الماء لبعضها. فإذا كان الهواء يحتوي علي غاز الأكسجين ووضع في إناء

مقل به ماء خالي من الأكسجين فإن الأكسجين يبدأ في الانتقال الي الماء وإذا تم ضخ أكسجين زيادة في الهواء أي زيادة نسبة جزيئات الأكسجين في الهواء عنئذ يحدث إنتقال للأكسجين الي الماء حتى للوصول إلى حالة إتزان جديدة في الماء. وفي حالة معالجة المياه فان إزلة الغازات تتأثر بالضغط ودرجة الحرارة وأن كلن التغير في الضغط يحدث عند التغير في درجات الحرارة وتطبق المبادئ التالية في نظم الماء والغازات.

\* عند الوصول الي حالة الأتزان (Equilibrium) لا يحدث إنتقال للغاز ما بين الماء والهواء.

\* عند عدم الوصول إلى حالة الإتزان يحدث إنتقال للغاز لحين الوصول إلى حالة الإتزان وزمن الوصول إلى حالة الإتزان قد يستغرق وقت كبير أو يكون فوري.

\* لكل غاز، ضغط كلي، درجة حرارة. تحدث حالات من الأتزان. كلما زادت درجة الحرارة قلت الإزابة وكلما زاد الضغط الكلي زادت الإزابة.

### معدل إنتقال الغاز: Mass Transfer.

أن معدل وصول الماء والهواء الي حالة إتزان يوفر للقوة الدافعة لحركة الغاز (Diffusion) ولحدوث ذلك يلزم وجود تدرج في التركيز في اتجاه إنتشار الغاز في كل من الماء والهواء. يمكن توضيح ذلك من الشكل رقم (١٠٤). عند درجة حرارة ٢٠°م وعند منسوب سطح البحر وعندما تكون المياه في حالة إتزان مع الهواء الجوي ستحتوى المياه على ١٥,٨ ملليجرام / لتر نيتروجين، ٩,٤ ملليجرام / لتر لكسجين، ٠,٥ ملليجرام / لتر ثاني أكسيد الكربون وكمية صغيرة لا تقاس من كبريتيد الهيدروجين.

كلا من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين قابل للذوبان في الماء فعند ٢٠°م ومنسوب سطح البحر ينوب ثاني أكسيد الكربون بمعدل ١٧٠٠ ملليجرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين ٣٥٠٠ ملليجرام / لتر. الضغط الجزئ لكل من هذه الغازات في الهواء الجوي عمليا صفر. ولهذا فإنه عند حدوث حالة الأتزان، ما بين

الماء والهواء بواسطة التهوية سينتج عنه تشبع الماء بغازات النيتروجين والاكسجين والتخلص تماما من غازات ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الماء بالتهوية. الأساس في إزالة الغازات بالتهوية هو تحقيق حالة الأثران مابين الغازات في الماء والغازات الموجودة في الهواء الجوى المحيط. يساعد على إزالة الغازات بالتهوية إرتفاع درجة الحرارة، زمن التهوية، حجم الهواء الملاصق للماء، مساحة سطح الماء المعرض للهواء. وتزداد كفاءة الإزالة كلما زادت نسبة تركيز الغاز في الماء عنه في الهواء. فمثلا كفاءة التهوية تكون عالية للماء المحتوى على ١٠٠ ملليجرام / لتر ثاني أكسيد الكربون عنه في الماء المحتوى على ١٠ ملليجرام / لتر.

### ٢- أنواع تجهيزات التهوية: Aerators Types

المعدات المستخدمة في التهوية يمكن أن تقسم إلى التهوية بالتدفق الهابط للمياه (Water Fall Aerators) والتي هي نافورات البثق (Spray Nozzles)، تدفقات المياه من أعلى إلى أسفل لتلتصق بالهواء (Cascades)، للصوانى المتعددة (Multiple Trays)، التهوية بالفقاعات (Diffusion Or Bubble Aerators) والتي تضخ الهواء في شكل فقاعات خلال الماء، التهوية الميكانيكية (Mechanical Aerators). واجهزة التهوية بالتدفق الهابط للمياه تسبب للتهوية بسبب نزول المياه في شكل رزاز (Drops) أو في شكل طبقات رقيقة جدا من المياه (Thin Films) بمايزيد من مساحة الماء المعرض لوحدة الحجم. أما التهوية بالفقاعات فتحدث تأثير أقل وذلك بضخ فقاعات الهواء الى الماء باستخدام تجهيزات ضخ الهواء (Air Injector Devices). وبالنسبة للتهوية الميكانيكية فهي تتم باستخدام مراوح أو ريش تدار بمحركات منفردة أو يستخدم معها تجهيزات لحقن الهواء، وتستخدم هذه على نطاق واسع في معالجة مياه الصرف.

العلاقة ما بين الحجم والمساحة والزمن: (Area Vólume and Time Relation).

العلاقة العكسية ما بين المساحة المعرضة لوحدة الحجم ( $A/V$ ) والزمن ( $T$ )، فبعد ثبات ناتج ( $A/V$ ) والزمن ( $T$ ) فإن كفاءة جهاز التهوية تظل ثابتة. ولذلك فإن الزمن ( $T$ ) يمكن أن يزداد على حساب العلاقة ( $A/V$ ) والعكس صحيح بدون الفقد



فى الكفاءة. وهذه العلاقة العكسية تستخدم فى الأنواع المختلفة لأجهزة التهوية. فميزه التهوية بالتدفقات الهابطة للمياه عموما هو النسبة العالية بين المساحة إلى الحجم ( $A/V$ ) نتيجة إنتاج المياه فى شكل رزاز أو طبقات رقيقة جدا. أقصى مساحة يمكن إنتاجها باستخدام جهاز النافورات بالنبثق (Spray Nozzles) ولكن زمن التعرض سيكون قليلا جدا إلا فى حالة توفير قوة ضغط عالية لدفع المياه إلى اعلى فى الهواء. وعلى الجانب الآخر فإن التهوية بالمصاطب المتدرجة (Cascade Aerators) تنتج مساحة تعرض أقل ولكن زمن التعرض يكون كبيرا.

والتهوية باستخدام ناشرات الهواء (Diffusion Types Aerators) توفر زمن أكبر فمثلا المياه فى نافورة ناشرات الهواء بار تفاع ١٠ متر عمودي وعودة عامود المياه ثانيا بمعدل تقريبي ١٣ قدم فى الثانية بما يوفر زمن تعرض أقل من ٢ ثانية. وعلى الجانب الآخر فإن فقاعة الهواء بالحجم المستخدم عادة فى ناشرات الهواء لها سرعة حوالي ١ قدم فى الثانية وبالتالي زمن التصاق ١٠ ثانية فى حوض عمق فيه ١٠ قدم. تفيد التهوية تحت الضغط فى خزان مغلق فى تحقيق كفاءة فى انمصاص الأكسجين ولكن ليست ذات كفاءة فى إزالة ثاني أكسيد الكربون والسذي يزال بالهواء الجوى. ولكن للتخلص من غاز فى خزان مغلق يمكن خفض الضغط الكلي للهواء ولذلك استخدمت وحدات للتهوية التي تعمل بالتفريغ (Vacuum Deaerating Systems). التهوية الجيدة مهمة لازالة غازات مثل ثاني أكسيد الكربون الخائق، أو غاز الميثان الذي يسبب الانفجار أو كبريتيد الهيدروجين شديد السمية. فى درجة حرارة المياه العادية ما بين صفر إلى ٣٠°م فإن المركبات التى تغلى عند درجة حرارة أعلا من صفر درجة مئوية لايمكن أن تزال بالتهوية. كمثال ثنائى أكسيد الكربون له درجة غليان - ٧٨°م ولذلك فإنه شديد التطاير عند درجة الحرارة العادية ويمكن إزالته بالتهوية، وعلى الجانب الآخر فإن الفينول له درجة غليان عالية وضغط بخار منخفض عند درجة الحرارة العادية، ونظراً لانخفاض ضغطه الجوى فليس من المناسب إزالته بالتهوية العادية.

إذا أمكن التعرف على المركبات المسببة للمذاق والرائحة وتحديد الإذابة وضغط البخار يمكن تقدير درجة إزالتها بالتهوية. وعموماً فإن قليلاً من المواد المسببة للمذاق والرائحة يمكن إزالتها بالتهوية باستثناء كبريتيد الهيدروجين.

### إزالة كبريتيد الهيدروجين :

يمكن إزالة كبريتيد الهيدروجين بالتهوية ولكن إذا كان التركيز عالى فإن ذلك يتطلب احتياطات خاصة. والخاصية العامة لكبريتيد الهيدروجين هي إزايته العالية مقارنة بثاني أكسيد الكربون. وكذلك فإن كبريتيد الهيدروجين يتأين في الماء، فهو حامض ضعيف ومعادلة تأينه كالأتي:



فعند تهوية المياه المحتوية على كل من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين فإن ثاني أكسيد الكربون الأقل إزابة يزول بسرعة وإزالته تقلل من تركيز أيون الهيدروجين (حامض ضعيف يتأين) حيث يرتفع الرقم الهيدروجين للماء. وبذا يتحرك التفاعل لتأين كبريتيد الهيدروجين في اتجاه زيادة التركيز للمركب  $\text{H}_2\text{S}$  وإذا لا يمكن إزالة بالتهوية. وعامل آخر في أن التهوية تعمل على أمصاص الماء بالأكسجين والذي يتفاعل مع كبريتيد الهيدروجين مكوناً ماء وكبريت حر. وهذا التفاعل يقلل من تركيز كبريتيد الهيدروجين ولكن بالتفاعل الكيميائي وليس بانتقال الغاز إلى الهواء الجوي، وأن لم يزال الكبريت الحر فإنه يسبب مشاكل في معالجة المياه.

يمكن زيادة كفاءة الإزالة لكبريتيد الهيدروجين بالتهوية في جو يحتوى على ثاني أكسيد الكربون أكثر من العادي باستخدام غازات الحريق. تهوية الماء في جو يحتوى على 10% ثاني أكسيد الكربون يوفر الظروف للرقم الهيدروجين ليظل كبريتيد الهيدروجين ( $\text{H}_2\text{S}$ ) محافظاً على تركيزه في الماء. وهذا يساعد على نقله من الماء إلى الحالة الغازية. يعد ذلك يمكن إزالة ثاني أكسيد الكربون بعملية تهوية عادية.

### ٣- مبادئ التصميم :

من واقع نظريات التهوية فإن إنتقال المواد للمتطايرة من وإلى الماء بالتهوية يتوقف على عدة عوامل كثير منها متعارض. والمصمم قد يمكنه التحكم وقد لا يستطيع التحكم فى بعض هذه العوامل. وأساساً بالنسبة للاضطراب (Turbulence) والعلاقة بين المسافة والحجم وزمن التعرض. وفى الحدود يمكن التحكم فى جو جهاز التهوية وفى تصميم وحدة التهوية قد يفضل عامل على الآخر. يلزم الاهتمام بالعامل الاقتصادى والقرار الأخير هو نوع عملية التهوية التى تنفذ أو مدى ملائمة استخدام التهوية عموماً والذى يحدد طبقاً للقواعد الطبيعة والاقتصادية. وعامل آخر هام جداً هو الشكل المعمارى والجمالى لوحدة التهوية بما يدعو إلى الابتهاج والسرور وتقبل نوعية المياه المعالجة للشرب.

انواع تجهيزات التهوية : Aerators Types أشكال (١٠٦ إلى ١١٢)

### ٤- التهوية بالرش أو التريز: Spray Aerators شكل (١٠٩، ١١١)

فى هذا النظام تدفع المياه لأعلى إما عمودياً أو بزاوية مائلة بطريقة تجعل المياه تترزز إلى نقط صغيرة جداً. ويتكون المنشأ عادة من نفورات مثبتة (Fixed Nozzles) على شبكة مواسير متصالبة. للتهوية بالتريز ذات كفاءة بالنسبة لنقل الغازات (إزالة ثاني أكسيد الكربون أو إضافة الأكسجين) ولها تأثير على استساغة المياه. ولكنها تحتاج إلى مساحة كبيرة.

ويتوقف زمن التعرض لكل نقطة على سرعتها الأولية ومسارها. حجم النقط والنسبة بين المساحة والحجم هو دليل على تريز النافورة. السرعة الأولية للنقطة الخارجة من النافورة أو الثقب تقدر —  $2gh\sqrt{V} = Cv$

$$Q = cdA\sqrt{2gh}$$

والتصرف بالمعادلة

Total Head = الضغط الرأسي علي النافورة

$g$  = عجلة الجاذبية

$A$  = مساحة الثقب

$cv$  = معامل السرعة

$cd$  = معامل التصريف (  $cd = ce \times cv$  حيث  $ce$  معامل الانكماش ) .

معاملات السرعة والانكماش والتصرف تتغير طبقا للشكل والخواص الأكوى للنافورة أو الثقب.

ومسار التريز قد يكون عموديا أو مائلا. إذا كانت  $\theta$  هي الزاوية بين محصلة السرعة الأولية والأفقية فان زمن التعرض لنقط للمياه يكون.

$$T = 2Cv \sin \theta \sqrt{2g/h}$$

ونظراً لأن جيب الزاوية اقل من  $90^\circ$  درجة (اقل من ١)، فان التريز العمودي يعطي أطول زمن تعرض لقيمة  $(h)$ . والتريز المائل له ميزه وهي طول المسار وعدم التداخل بين النقاط المتماثلة. وتؤثر الرياح علي مسار النقاط للصاعدة والهابطة مما يتطلب أخذ ذلك في الاعتبار.

وتصميم النافورات هام لتوفير أقصى انتشار للماء. ومن بين هذه التصميمات النافورة القاذفة (Riffled Nozzle)، النافورة بالطرد المركزي، الأقماع الطاقية. والنافورة الدوارة. يتوقف العدد والفواصل بين النافورات علي الضغط ومساحة التهوية والتداخل بين الرشاشات المتجاورة. وعمليا يجب تجنب النافورات الصغيرة جداً لمنع الانسداد.

من أشكال التهوية بالرش حيث تريز المياه يتم من خلال فوهة مثبتة متصلة بلوحة مثقبة للتوزيع حيث تنتشر من خلالها المياه إلى الهواء الجوي بسرعة ٣-٥ متر في الثانية. وشكل آخر حيث المياه تتدفق لأسفل خلال قطع قصيرة من

للمواسير بطول ٢٥ سم وقطر ١٥-٣٠ سم. والتي تتغذى من ماسورة توزيع رئيسية تحمل المياه تحت ضغط عمود مائي من ٢-٨ متر. ويوضع قرص مستدير زجاجي أسفل نهاية كل ماسورة، وأحياناً توضع المواسير الفرعية مائلة لمنع التصادم بين قطرات المياه المتساقطة والمنعكسة. ولمنع تلوث المياه يلزم عمل تهوية صناعية وتحديد مستمر لتيار الهواء.

ونوع آخر من التهوية بالرش والذي يستخدم فوهات لماسورة تغذية حيث المياه تتدفق لأعلى (شكل ١١١). عادة فإن تجهيزات التهوية بالرش توضع فوق حوض الترسيب أو وحدة الترشيح لتوفير المساحة الأرضية ولعدم الحاجة إلى توفير حوض تجميع للمياه للمهواة. ولمنع الانسداد يجب أن تكون فتحة خروج المياه كبيرة نسبياً أى أكبر من ٥ ملليمتر (شكل ١٠٩). وفي نفس الوقت يجب أن توفر هذه التجهيزات للترزيز للمياه إلى نقاط صغيرة جداً. وتوجد تصميمات كثيرة لتوفير هذه الاشتراطات منها جهاز التهوية البسيط الذى يستخدم عائق (شكل ١١١). التهوية بالنافورات تزيل أكثر من ٧٠% من ثانى أكسيد الكربون المذاب حتى ٩٠%.

## ٥- التهوية بتساقط المياه :

### أ- التهوية بالصوانى المتعددة (Multiple Tray Aeration) شكل (١٠٦)

وهذه طريقة سهلة وغير مكلفة وتشغل حيز صغيره. وهذا النوع من أبراج التهوية يتكون من ٤-٨ صوانى متقبية بفواصل ٣٠-٦٠ سم. وتمر المياه من أعلا البرج خلال مواسير متقبية للتوزيع بانتظام على أسطح الصوانى العليا، ثم تتدفق الى اسفل بمعدل ٢ و ٣ م<sup>٣</sup>/ث / المتر المربع من مسطح للصانية. نقاط المياه تنتشر ثم تتجمع عند كل صانية تالية. هذه الصوانى تصنع من الاسبستوس أو البلاستيك أو للخشب الأحمر البحرى المقاوم للمياه أو من المواسير البلاستيك صغيرة القطر. ولزيادة تشتت المياه يمكن ملئ الحوض بالزط الفايبر بسمك ١٠ سم وقد يستخدم فحم الكوك أو كسر الأحجار أو قطع الميراميك أو الدولوميت، وهذه المواد فائدة فى حجز الرواسب والتخلص منها أولاً بأول. كما تقيد فى تحويل

المياه إلى قطرات صغيرة بما يزيد من مساحة الأسطح المعرضة للهواء ويرفع من قيمة معامل الانتقال للغازات وبذا تتحسن نوعية المياه بإزالة ثاني أكسيد الكربون وإزالة الأكسجين في الماء. وتمتاز هذه الطريقة بصغر المساحة التي تتراوح ما بين ١٥-٤٥ متر لكل ١٠٠٠ متر مكعب من المياه في الساعة. كما يلزم من أن لأخر تنظيف أو تغيير طبقة الفحم وإلا تعطل مرور المياه وتوقفت العملية كلها. وفي كثير من الحالات تغطي هذه الأعمال بالإنشاءات المسقوفة وبالتالي ضرورة الالتجاء إلى التهوية الصناعية. وبالنسبة للتجمعات الصغيرة ذات الاستهلاك المحدود من المياه يستخدم برج التهوية اليدوي مع الترشيح للمياه المحتوية على نسب عالية من الحديد والمنجنيز شكل (١٠٦).

#### ب - التهوية بالمصاطب المتدرجة : Cascade Aerators شكل (١٠٧، ١٠٨)

في التهوية بالمصاطب المتدرجة يتوفر زيادة زمن التعرض وكذلك زيادة نسبة المساحة إلى الحجم وذلك بتدفق المياه لأسفل خلال عدد من المصاطب أو العوائق. وأبسط أنواع المصاطب المتدرجة هو المصاطب الخرسانية والتي تجعل المياه تتساقط في رقائق من منسوب إلى آخر. يمكن زيادة زمن التعرض بزيادة عدد المصاطب، كما يمكن زيادة نسبة المساحة إلى الحجم بإضافة عوائق (هدارات) لا تحدث الاضطراب (Turbulence). والضغط المطلوب من ٣-٥ قدم. إزالة ثاني أكسيد الكربون تتم بنسبة ٢٠-٤٥%. ويتراوح عدد المصاطب بين ٣-٥ حسب الجودة المطلوبة للمياه من عملية التهوية. وتبلغ مسافة سقوط المياه من ١٥-٣٠ سم، كما يبلغ معدل التصريف ٢٠ لي ١٠٠٠ متر مكعب في الساعة لكل متر طولي من الهدار (عرض الحوض)، على أن تكون الهدارات مزودة بإطراف على هيئة سن المنشار لتوزيع المياه وتفكيكها على هيئة قطرات يسهل تهويتها وقد وجد أن المساحة المطلوبة لهذا العملية تبلغ حوالي ٣٠ متر مسطح لكل ١٠٠٠ م<sup>٣</sup> مياه في الساعة. وإن كانت هذه الطريقة قد أثبتت كفاءة عالية في زيادة نسبة الأكسجين المذاب في المياه ألا أنها لم تعط نتائج جيدة لإزالة ثاني أكسيد الكربون. ومقارنة ببرج التهوية ذو الصواني (Tray Aerators) فإن المساحة المطلوبة للتهوية بالمصاطب أكبر وإن كان الفقد في الضغط أقل، إلا أنه لا يحتاج إلى صيانة. نوع

آخر من حوض التهوية متعدد الأرضية (Multiple Platform Aerator) شكل (١٠٨) حيث تستخدم ألواح لنزول المياه إلى أسفل بما يعرض المياه بالكامل للهواء. وفي المناخ البارد يجب أن تكون هذه المصاطب في مبنى مغلق كما يجب عمل إجراءات تحسين التهوية وكذلك الاحتياط لتجنب التآكل وتكوين الطحالب والمواد الهلامية.

## ٦- التهوية بفقااعات الهواء: Bubble Aerators

كمية الهواء للتهوية بالفقااعات صغيره ولا تزيد عن ٠,٣ - ٠,٥ متر مكعب من الهواء لكل متر مكعب من الماء. وهذه الأحجام يمكن توفيرها بسهولة بشفط الهواء إلى الداخل (Sucking- In Of Air). يمكن توفير ذلك باستخدام التهوية بالفنتورى (Venture) شكل (٥) حيث يوضع جهاز التهوية أعلا من الماسورة الحاملة للمياه. في فتحة الفنتورى تكون سرعة المياه عالية حيث في المقابل يقل ضغط الماء إلى أقل من الضغط الجوى ولذا فإن الهواء يجذب (Sucked) إلى الماء. وبعد المرور في فتحة الفنتورى تتدفق المياه خلال ماسورة متسعة المقطع ونقل سرعة المياه مع ما يقابلها من زيادة ضغط الماء. تختلط فقاعات الهواء الصغيرة جدا مع الماء ويمتص الأكسجين من الهواء إلى الماء. ويعتبر التخلص من ثانى أكسيد الكربون فى هذا النوع من التهوية غير مؤثر نظرا لأن حجم الهواء فى الفقاعات صغير نسبيا. وكذلك للتخلص من باقى الغازات غير مجدي فى هذه الطريقة.

## ٧- التهوية بالماء المضغوط (المقن): Injection Aerators

شكل (١٠٥- أ، ب، ج)

فى هذه الطريقة يتم ضغط الهواء داخل المياه المطلوب تهويتها فيخرج الهواء على هيئة فقاعات تمد المياه بالأكسجين اللازم. وهذه الطريقة غير مجدية فى إزالة النسب العالية من ثانى أكسيد الكربون، ألا أنها لا تتأثر بالتقلبات الجوية والرياح كما فى الطرق السابقة. وللهوية بالماء المضغوط عدة طرق أهمها شكل (١٠٥).

وفي هذه الطريقة تتم التهوية في حوض مستطيل من الخرسانة المسلحة مزود بناشرات هواء قرب قاعة، وهي عبارة عن أنابيب مثقبة أو مسامية ينفذ خلالها الهواء المضغوط وتنتشر على هيئة فقاعات هوائية تتخلل المياه فتحدث التهوية شكل (أ) والسرعة الرأسية المناسبة لصعود هذه الفقاعات لا تزيد عن ٣٠ سم/ث، وذلك بفقد إطالة زمن التلامس لفقاعات الهواء مع الماء وإمكان حصول المياه على الأكسجين من هذه الفقاعات. ويبلغ عمق للحوض ٣-٤,٥، فإذا نقص عن ذلك إنخفض زمن التلامس وقلت الاستفادة من الهواء المضغوط. أما إذا زاد عمق الحوض فإن ذلك يتطلب طاقة كبيرة لضغط الهواء دون أن يقابل ذلك تحسن في التهوية. يجب ألا يزيد عرض الحوض عن ضعف عمقه. ويحدد الطول اللازم للحوض بعد تحديد سعة وهذه تصمم لزمن مكث ما بين ١٠ الى ٢٠ دقيقة. المساحة اللازمة لهذه الأحواض تتراوح ما بين ٤٠ الى ١٢٠ متر مربع لكل ١٠٠٠ متر مكعب من المياه في الساعة. وتختلف كمية الهواء المطلوب من عملية أخرى ولكنها عادة تتراوح بين ٤٠%، ٨٠% من كمية المياه المطلوب تهويتها. وفي هذه الطريقة كلما صغر حجم فقاعات الهواء كلما زادت أسطح التلامس وتحسنت التهوية. ونظرا لأن حجم فقاعات الهواء يبلغ تقريبا عشرة أضعاف حجم الفتحة التي خرجت منها فإن الحصول على فقاعات صغيرة يتطلب ناشرات هواء ذات مسام صغيرة وهذه تكون سريعة الانسداد، ولتفادي ذلك يفضل ترشيح المياه قبل التهوية للتخلص من المواد العالقة التي تسبب انسداد ناشرات الهواء. كما أن تقليب المياه باستمرار يحسن التهوية ولتحقيق ذلك توضع ناشرات الهواء على جانب واحد من قاغ الحوض لاعطاء الماء حركة حلزونية والتي تساعد على بقاء الفقاعات في الحوض فترة من الزمن ومنع هروبها بسرعة إلى السطح شكل (ب) وبين الشكل (ج) حوض تهوية يعمل بنفس النظرية ولكن باستعمال أنابيب مثقبة أو مسامية توضع عند منتصف عمق الحوض، وبالحوض أيضا حوائط حائطة لاعطاء المياه حركة حلزونية.

وتصمم هذه الأحواض على أساس ٣٠ متر مكعب في الساعة لكل متر مسطح واستهلاك الهواء يقدر بحوالي متر واحد من الهواء لكل متر مكعب من المياه وهذه



تحتاج الى طاقة عالية نسبيا. وللحوض قاع مخروطى لجمع الرواسب وتصريفها فى ماسورة خاصة.

## ٨- ضوابط استعمالات التهوية : Limitation For Aeration

• أكثر التطبيقات العملية للتهوية تتم بغرض إيمصاص الغازات والتخلص من الغازات أساسا بالنسبة للأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. عند تهوية المياه فإن المحتوى من الأكسجين المذاب يزداد بما يجعل المياه أكثر عدوانية للتآكل. وإن كان هناك إجراءات لتجنب هذه المشكلة.

• إن استخدام عمليات التهوية بعد الترشيح أو لمعالجة مياه الآبار كعملية وحيدة تشكل بعض السلبيات نظرا لتعرض المياه للهواء المحمل بالملوثات وذلك عند التهوية قبل الضخ المباشر فى شبكة التوزيع. وكذلك فإن التهوية الزائدة قد تحدث أثر سلبى عند إزالة الحديد والمنجنيز وذلك عند وجود هذه العناصر متحدة مع المواد العضوية وفى هذا الحالة إذا كان المصدر للماء من المجارى السطحية العذبة يتم التخلص من الحديد والمنجنيز فى مراحل المعالجة بالمرويات والترسيب والترشيح حيث تزال كذلك المواد العضوية. وعندما يكون المصدر هو مياه الآبار نفضل عمل تهوية بسيطة أو استخدام مواد الأكسدة من الكلور وبيرومنجات البوتاسيوم.

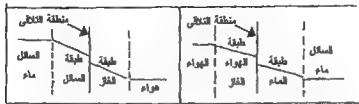
• معظم المشاكل الخاصة بالمذاق والرائحة لمصادر المياه يكون سببها كميات صغيرة من المواد العضوية، وكثير من هذه المواد العضوية ليس لديها القدرة الكافية على التطاير (التبخّر) لتتجاوب مع عمليات التهوية التقليدية. ولهذا فإن عمليات التهوية التقليدية ليست مؤثرة فى إزالة المذاق والرائحة فى جميع الحالات. ولكن هناك استثناءات من هذا التعميم فعند التهوية باستخدام الضغط المرتفع أثبتت تقليل للرائحة بنسبة ٩٨% عند استخدام ضغط ٧-٨ كج/سم<sup>٢</sup> عند فتحات الفنى (Nozzles). ولكن مشكلة استخدام الضغط المرتفع للتهوية بسبب البرى والتلف للريش للدافعة لفتحت الفنى وأن كان هذا التلف يرجع للعاركة فى المياه المعالجة فى حالة وجودها.

\* بالنسبة لإزالة ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى فعند استخدام التهوية التي تعمل بتدفقات المياه، فإن الضغط المطلوب هو حوالي ٤ متر والاحتياجات من المعدات لضغط الهواء هي تقريبا المطلوبة لعمليات بثق الهواء (Air Diffusion). أى أن الطاقة المطلوبة في الحالتين تقريبا متساوية . وقد ثبت أنه في حالة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الماء ١٠ جزء في المليون أو قل فإنه يتم إزالة ثاني أكسيد الكربون بالتعادل الكيميائي باستخدام الجير (Lime) وليس بالتهوية، ويعتبر إزالة ثاني أكسيد الكربون من المياه الجوفية ذو أهمية خاصة عند معالجة المياه لإزالة العسر بطريقة الجير - الصودا (Soda-Lime Process). كما أن التهوية تضيف الأكسجين الى الماء الذى يتم به أكسدة الحديد والمنجنيز والتهوية تزيد كبريتيد الهيدروجين من المياه الجوفية حيث يمكن إزالة تركيزات من ١-٢ جزء في المليون والتي لها تأثير على الرائحة. ولكن التركيزات الأعلى يمكن إزالتها بزيادة زمن التهوية أو باستخدام التهوية فى مجال جوى به ضغط جزئى عالى من ثاني أكسيد الكربون أو إضافة قلوئى إلى الماء.

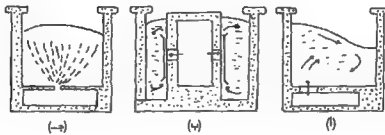
\* الأبراج للتهوية ذات الحشو : Packed Towers شكل ( ١١٢ )

لقد استخدمت فى عمليات الكسح (Stripping) للملوثات شديدة التطاير مثل كبريتيد الهيدروجين. ولكن توجد مجموعة من الكيماويات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Chemicals) بالإضافة الى مركبات الترابها لوميتان أقل فى التطاير والتبخر مما يتطلب استخدام أكثر كفاءة لإزالتها.

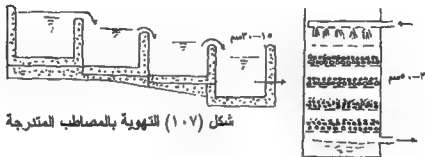
البرج ذو الحشو النموذجي يتكون من جسم أسطواني به قرص لحمل مادة الحشو (Packing Material). مادة الحشو تكون من قطع عشوائية فى البرج. ويصنع جسم البرج من الصلب أو السيراميك أو البلاستيك. وتستخدم التهوية فى هذه الأبراج بالتدفق للمعكس حيث تتدفق المياه الى أسفل داخل البرج ويمر الهواء الى أعلا. ويمكن كذلك تصميم الأبراج بالتدفق الموازى والتدفق المتقاطع



شكل (١٠٤) التدرج في إنتشار الغاز في الماء والهواء

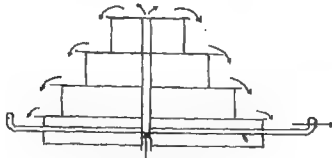


شكل (١٠٥) التهوية بالهواء المضغوط (أ، ب، جـ)

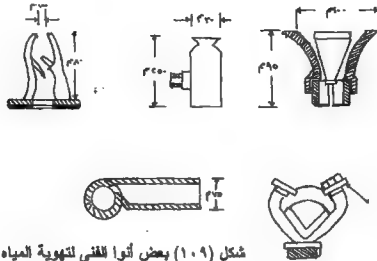


شكل (١٠٧) التهوية بالمصاطب المتدرجة

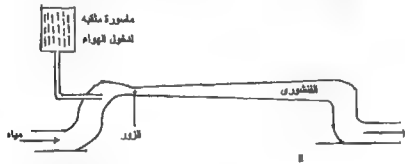
شكل (١٠٦) التهوية بالصواني المثقبة



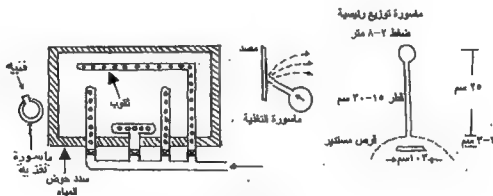
شكل (١٠٨) التهوية بالمصاطب الممتدرة



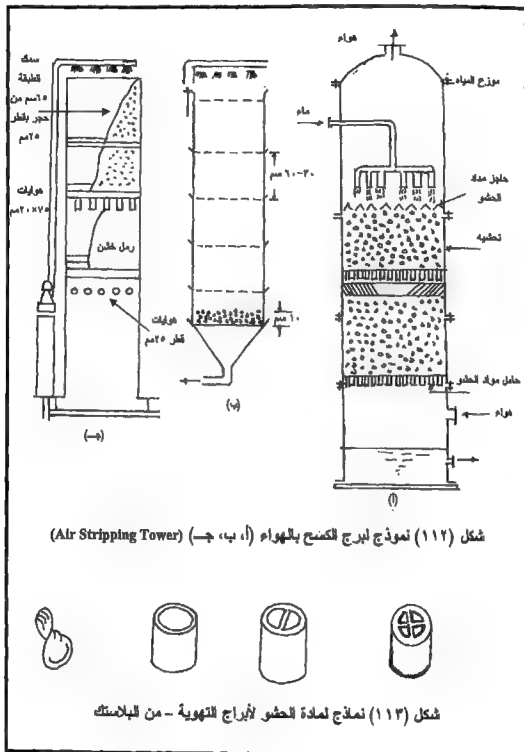
شكل (١٠٩) بعض أنواع القنى لتهوية المياه بالترزيز



شكل (١١٠) التهوية بالفنشوري (Venture Aerator)



شكل (١١١) التهوية بالترزيز





## القسم الرابع

# إزالة الحديد والمنجنيز من مياه الشرب والاستخدام المنزلى

مقدمة :

مركبات الحديد والمنجنيز بالإضافة إلى مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم والألمنيوم من مسببات العسر فى المياه. يوجد الحديد والمنجنيز فى صخور وأملاح التربة فى شكل مركبات الكربونات والأكاسيد والكبريتيد (Sulphides)، كما يوجد فى الطفلة وفى أنسجة الكائنات الحية. الحديد والمنجنيز من الملوثات الغير مقبولة فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى.

## ١- الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه الجوفية والسطحية :

أ- فى مصادر المياه الجوفية :

يوجد الحديد والمنجنيز فى كثير من مصادر المياه الجوفية ويوجد المنجنيز عادة مع الحديد ولكن بنسب اقل. المياه الجوفية عادة تحتوى على نسب عالية من ثانى أكسيد الكربون ونسب قليلة من الأوكسجين المذاب ويرجع تكون ثانى أكسيد الكربون إلى تحلل المواد العضوية فى التربة لا هوائيا وفى هذه الظروف فان أملاح الحديد والمنجنيز فى الشكل على التكافؤ تكون غير مذابة وعند توفر ثنائى أكسيد الكربون وغيبة الأوكسجين تتحول هذه الأملاح الغير مذابة الى المركبات

المذابة ثنائية التكافؤ مثل ايدروكسيد وبيكربونات الحديدوز والمنجنيز ثنائي التكافؤ (Manganous). ( $Mn^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ). وكذلك توجد الكبريتات المذابة فى المياه الجوفية وكذلك يوجد الايون الثنائى التكافؤ للحديد والمنجنيز محتوى على كبريتيد الهيدروجين.

كما يوجد الحديد والمنجنيز مرتبط بالمركبات العضوية الناتجة عن تحلل الكائنات الحية (النباتات والحيوانات) والتي تسمى بالحامض الاصفر فى المياه (Yellow Acid) والذى يتحد مع مركبات الحديدوز مكونا مركبات عضوية وهذه مواد ملونة معقدة (Complex).

ويوجد الحديد فى المياه الجوفية بنسب حتى ٢٥ جزء فى المليون وقد يزيد عن ذلك أو يقل كما أن المنجنيز يوجد عادة بنسب أقل من واحد جزء فى المليون. الملاحظة العامة ان للمياه ذات القلوية العالية بها نسب أقل من الحديد والمنجنيز عن المياه ذات القلوية المنخفضة وكذلك فإن تركيز الحديد فى المياه الجوفية حيث التربة الحاملة تكون زلطية يكون أقل منه فى التربة الحاملة للصخرية مركبات الحديد المتحدة مع مواد عضوية (Colloidal) أو الغير مذابة تزال بفعل الترشيح للتربة الحاملة للمياه الجوفية أثناء ضخ المياه من البئر الجوفى.

#### ب - الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه السطحية :

يوجد الحديد فى مصادر المياه السطحية المحتوية على الأكسجين فى أشكال مختلفة من الحديد الثلاثى التكافؤ (الحديديك - Ferric Iron) فقد يوجد فى مستحلب الطفلة والطين، والأجسام العالقة الصغيرة من أكسيد الحديديك المائى تكون فى شكل جيلاتينى (Colloidal) أو فى شكل مركب عضوى معقد ملون أو فى شكل أجسام محاطة بمواد مانعة لظهور اللون (Chelated) كما يوجد فى شكل مواد ومركبات غير عضوية أو مركبات مع مواد عضوية عالقة. فى العينات المرشحة من المياه المحتوية على أكسجين نادرا ما تزيد نسبة الحديد عن واحد جزء فى المليون. أما المنجنيز فإنه يوجد فى المياه السطحية فى شكل مركبات عضوية عالقة محتوية على المنجنيز رباعى التكافؤ وكذلك فى شكل مركبات ثلاثية التكافؤ المعقدة القابلة



للذوبان نسبيا وفي المركبات المعقدة الغير عضوية. وفي للحالة المذابة كأيون المنجنيز ثنائى التكافؤ نادر ما تزيد نسبة المنجنيز في المياه السطحية عن واحد جزء في المليون وغالبا ما يوجد المنجنيز بنسبة من ٠,١ الى ١ جزء في المليون وتصل نسبة المنجنيز من ثلث الى نصف نسبة الحديد.

### ج- المشاكل التى يسببها وجود الحديد والمنجنيز في المياه :

يحدث عند غسيل الملابس أو الأواني أو أى أجسام تلامسها المياه المحتوية على الحديد والمنجنيز وجود بقع ملاصقة قبيحة المنظر غير قابلة للذوبان ذات لون الصدا البنى والأصفر والرمادى والاسود. المنجنيز لاذع في حالة زيادة نسبته فى مياه الشرب والحديد والمنجنيز يحول مشروب الشاي الى اللون الأسود ويغمق لون الخضراوات المغلية كما انه غير صالح لإعداد الأطعمة من بعض البقول مثل العدس ويعطى الحديد مذاق معننى ما بين المر والحلو ويمكن اكتشافه بواسطة الذواقة عند تركيز ١-٢ ملليجرام فى اللتر ويشكل كل من الحديد والمنجنيز مشاكل فى العمليات الصناعية التى تتدخل فيها المياه.

ويساعد وجود الحديد والمنجنيز على نمو وتكاثر البكتريا والذى يسبب الانسداد للمواسير والوصلات والمحابس بما يزيد استهلاك الطاقة كما أن البكتريا المؤكسدة للحديد تعمل على ترسيب الحديد في شبكة للتوزيع والسباكة المنزلية بما يسبب اللون الأحمر للمياه وبما يزيد من تراكم الترسيبات. بالإضافة إلى ذلك فإنه عندما تتحلل البكتريا فإنها تسبب مذاق ورائحة غير مقبولة للمياه بما يجعله غير مناسب للشرب. وعند تحلية المياه بطريقة للتبادل الأيوني أو بأستخدام الأغشية (Membranes) فإنه يلزم للتخلص من الحديد والمنجنيز لتجنب الترسيب والأنسداد مما يتطلب التنظيف بصفة مستمرة للمحافظة على كفاءته.

وقد وجد من الخبرة ان الحديد غير مقبول بنسبة اكبر من ٠,٢ جزء في المليون والمنجنيز بنسبة ٠,١ جزء في المليون وللأغراض الصناعية فإن الحديد قد يصل إلى ٠,١ جزء في المليون والمنجنيز ٠,٠٥ جزء في المليون. وقد أجازت وزارة الصحة نسب الحديد حتى ٠,٥ ملليجرام / لتر والمنجنيز حتى ٠,٣ ملليجرام /

الباب الخامس: المعالجات الخاصة  
لتر في قانون البيئة ٤ / ٩٤ في حالة استخدام المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي.

### د- إزالة الأشكال المختلفة للحديد والمنجنيز :

رغم إن الحديد والمنجنيز سواء المذاب أو الغير مذاب يوجد في أشكال متعددة في مصادر المياه السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب فإن وجودهم في المياه المرشحة محدود إلي درجة كبيرة بما لا يزيد عن ١ ملليجرام وذلك لإزالتهم في عمليات المعالجة بالمرشحات. ولكن لا يعتمد عليها في إزالة المنجنيز المذاب. المعالجة الأولية بواحد أو أكثر من العوامل المؤكسدة يؤكسد المنجنيز. المذاب إلي ثاني أكسيد المنجنيز الغير قابل للذوبان في الماء.



وجود غطاء من ثاني أكسيد المنجنيز الغير مذاب علي حبيبات الرمل في المرشح لا يساعد فقط في خفض المنجنيز إلي المستوي المطلوب ٠,٥ ملليجرام / لتر ولكن يساعد في الحصول علي مياه مرشحة تحتوي علي حوالي ٠,٠١ ملليجرام / لتر منجنيز وهي الحالة المثالية لنوعية المياه.

اللون العضوي في المياه السطحية مرتبط عادة بالمياه ذات القلوية الضعيفة أو المنعدمة ويزال اللون عند استخدام الشبة كمروبي. كما أن استخدام كبريتات الحديدك كمروبي ممتاز في مجال رقم هيدروجيني من ٦,٥ - ٨,٥. عند إزالة العسر للمياه من المصادر السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب بواسطة عملية الجير - الصودا (Soda - Lime) فإنه يتم إزالة الحديد والمنجنيز المذاب والغير مذاب مع باقي أملاح العسر. وتعتبر هذه الطريقة مؤثرة في إزالة المنجنيز نظرا لارتفاع الرقم الهيدروجيني.

يوجد ثلاث أشكال للحديد والمنجنيز في المياه الجوفية والتي يلزم إزالتها

- \* أيونات الحديدوز عادة مع مركبات عضوية ملونة وكذلك المنجنيز ثنائي التكافؤ مع مركبات عضوية ملونة ثم اللون حيث جزء بسيط منه متحد مع الحديد وكذلك يحتمل مع المنجنيز.
- \* للمياه الملوثة ليست بالضرورة مياه مطحنة، اللون العضوي في المياه الجوفية مرتبط عادة بالمياه العسر في الآبار الضحلة.
- عندما تحتوي المياه للجوفية الملونة علي ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر من الحديد يوجد ثلاث أنواع من معالجات يمكن عملها.
- \* المعالجة الأولية بالتهوية ثم للترويب والترسيب والترشيح.
- \* المعالجة الأولية بالتهوية ثم الأكسدة بالكلور أو ثاني أكسيد الكلور أو الأوزون.
- \* الترويب والترسيب مع إضافة ١-٣ ملليجرام / لتر من كبريتات الحديد كعامل ترطيب في حالة تركيزات الحديد الثقيلة.

كما يمكن إزالة أيون الحديدوز والمنجنيز ثنائي التكافؤ سوياً مع باقي أيونات العسر من المياه الجوفية باستعمال الزيوليت الخاص بإزالة العسر، وذلك مع الحرص من دخول الهواء الي المبادل الأيوني حتي لا يرسب الحديد المؤكسد ويسبب الانسداد أو التلف لطبقة التبادل الأيوني. وقد أصبح المألوف حالياً إزالة الحديد والمنجنيز بالتهوية مع استخدام مفاعل طبقة الحماة (Sludge Blanket) من أكاسيد الحديد والمنجنيز الرباعي ثم الترشيح وذلك قبل استخدام للتبادل الأيوني لإزالة الملوحة. تقل إزالة أيون الحديد والمنجنيز عند أكسدة الحديد الي الثلاثي التكافؤ والمنجنيز الي الرباعي التكافؤ حيث يحدث ترسيب وأنماج مما يسهل إزالتهم بالترشيح.

#### هـ - التفاعل مع المؤكسدات :

عند أكسدة الحديد الثنائي الي الثلاثي التكافؤ فإن هذه الأكسدة تنيد الحديد بمكافئ واحد وفي حالة أكسدة المنجنيز للثنائي الي المنجنيز الرباعي التكافؤ فإن الأكسدة للمنجنيز تزيد بمعدل ٢ مكافئ

لذلك فإنه يصرف النظر عن الوزن الذري للحديد والمنجنيز فإن المنجنيز الثنائي يتطلب عملياً ما يعادل حوالي ضعف المؤكسد الذي يتطلبه الحديد الثنائي. يهتم المصمم بإيجاد الحديد والمنجنيز في الشكل الغير مذاب أثناء عملية الأكسدة مع إزالة الرواسب في العمليات التالية. ويلاحظ أنه بزيادة سرعة الأكسدة يتكون راسب الأيدروكسيد ومع بطئ تفاعل الأكسدة تتكون الكربونات. العوامل المؤكسدة عادة والتي تشمل الكلور وثاني أكسيد الكلور وبرمنجات البوتاسيوم. يظهر في الجدول التالي كمية المؤكسد المطلوب والقلوية المستهلكة وتقدير للراسب المتكون.

الرواسب المتكونة تكون أساساً من إيدروكسيد الحديدك وثنائي أكسيد المنجنيز  $(Fe(OH)_3 \& MnO_2)$  مع احتمال تكون كربونات الحديد وفورمات المنجنيز المتحد مع ثاني أكسيد المنجنيز  $MnO_2 (Mn(OOH)_2)$  - .

#### أكسدة الحديد:

| التفاعل  | (المؤكسدة) ملليجرام /<br>ملليجرام حديد ثنائي | (القلوية المستخدمة) ملليجرام<br>/ ملليجرام حديد ثنائي |
|--|--|---|
| أ - الأكسجين<br>$Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$                        | ٠ , ١٤                                       | ١ , ٨   |
| ب - الكلور<br>$2Fe(HCO_3)_2 + Ca(HCO_3)_2 + Cl_2 = 2Fe(OH)_3 + CaCl_2 + 6CO_2$         | ٠ , ٦٤                                       | ٢ , ٧   |
| ج - البرمنجنات<br>$3Fe(HCO_3)_2 + KMnO_4 + 2H_2O = 3Fe(OH)_3 + MnO_2 + KHCO_3 + 5CO_2$ | ٠ , ٩٤                                       | ١ , ٥   |
| د - ثنائي أكسيد الكلور<br>$Fe(HCO_3)_2 + NaHCO_3 + ClO_2 = Fe(OH)_3 + NaCl + 3CO_2$    | ١ , ٢١                                       | ٢ , ٧   |

## أكسدة المنجنيز :

| التفاعل  | (المؤكسد) مليجرام /<br>مليجرام منجنيز ثنائي | (القلوي المستخدم) مليجرام<br>/ مليجرام منجنيز ثنائي |
|--|---|---|
| أ - الأكسجين<br>$2 \text{MnSO}_4 + 2 \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 = 2 \text{MnO}_2 + 2 \text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$             | ٠, ٢٩                                       | ١, ٨  |
| ب - الكلور<br>$\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Cl}_2 = \text{MnO}_2 + \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$          | ١, ٢٩                                       | ٣, ٦٤   |
| ج - ثنائي أكسيد الكلور<br>$\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{NaHCO}_3 + 2 \text{ClO}_2 = \text{MnO}_2 + 2 \text{NaClO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$ | ٢, ٤٦                                       | ٣, ٦  |
| د - برمنجنات البوتاسيوم<br>$3 \text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{KmnO}_4 = 5 \text{MnO}_2 + 4 \text{HCO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$                  | ١, ٩٢                                       | ١, ٢١   |

## ٣- ديناميكا التفاعل مع الأكسجين :

إن معدل أكسدة الحديدوز في أي رقم هيدروجيني هو دلالة لتركيز الحديدوز في حالة توفير الأكسجين حيث يقل معدل الأكسدة كلما قل التركيز. ومن ناحية أخرى فإن معدل أكسدة الحديدوز يتوقف على الرقم الهيدروجيني بدرجة كبيرة حيث يزداد مائة مرة لكل زيادة واحدة في الرقم الهيدروجيني عند ثبات درجة الحرارة. وتأثر الأكسدة بدرجة الحرارة أقل حيث تزداد عشرة مرات لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره ٨ درجات مئوية. في المياه المحتوية على البيكربونات وعند درجة حرارة ١٦°م فإن الأكسدة تتم ببطء شديد جدا عند رقم هيدروجيني ٦,٥ ولكن عند رقم ٩, ٦, ٢, ٧ فإن الوقت اللازم لإكمال التفاعل بنسبة ٩٠% هو تقريبا ٤٨ دقيقة، ٨ دقائق وأقل من دقيقة عند نفس درجة الحرارة ورقم هيدروجيني ٧,٩. للقلوية المرتفعة تساعد كذلك على أكسدة أيون الحديدوز. وللحصول على أكسدة فورية لأيون الحديدوز في المياه الجوفية ذات القلوية

المنخفضة، فإنه من الضروري رفع قلوية البيكربونات إلى ١٠٠ - ١٣٠ ملجرام / لتر مقيمة ككربونات كالسيوم.

قد تكون التهوية غير مؤثرة في المياه المحتوية علي مركبات عضوية مركبة وذلك لأن الحديدوز يمكن أن يكون مركبات عضوية مركبة مع هذه المواد العضوية ومنها أحماض التنيك (Tannic Acids) وهذه المركبات يمكن أن تعيق تماما أكسدة الحديدوز لعدة أيام حتي عند توفر الأكسجين. أيون النحاس ثنائي التكافؤ ( $Cu^{++}$ ) يؤثر علي سرعة أكسدة أيون الحديدوز كعامل وسيط حتي ان الكميات الصغيرة جدا (Traces) لها تأثيرها علي معدل التفاعل ولا يتأثر هذا العامل الوسيط بدرجة الحرارة أو في حالة تكوينها لمركبات معقدة مع المواد العضوية ومن العوامل المساعدة لمرعة أكسدة الحديد والمنجنيز ايونات الفسفور ثنائية الهيدروجين ( $H_2PO_4$ ) لاتحادها مع المنجنيز ثنائي التكافؤ والحديد ثلاثي التكافؤ لتكون مركبات معقدة. وكذلك أيون الميتافوسفيت أحادي التكافؤ ( $P_2O_5$ ) يمكنه العمل كعامل وسيط لإسراع عملية الأكسدة للحديدوز وكذلك السيلكا تعمل كعامل وسيط في تفاعل الأكسدة.

أكسدة المياه المحتوية علي المنجنيز الثنائي والرابعي يؤدي الي ترسيبه في شكل ثنائي أكسيد المنجنيز أو إزالته من المياه. وتتوقف أكسدة المنجنيز مثل الحديد علي الرقم الهيدروجيني حيث يقل معدل الأكسدة عند رقم هيدروجيني أقل من ٩ وعند الوصول الي رقم هيدروجيني ٩,٥ يزداد علي الرقم الهيدروجيني فقط معدل الأكسدة بوضوح. ولا يتوقف معدل الأكسدة للمنجنيز علي الرقم الهيدروجيني فقط بل كذلك علي ثاني أكسيد المنجنيز وقد ثبت أن ثاني أكسيد المنجنيز يقوم بامتصاص المنجنيز ثنائي التكافؤ. امتصاص ثاني أكسيد المنجنيز يزداد بمعدل ٢,٥ مرة من ٠,٣ جرم منجنيز ثنائي لكل واحد ملجرام ثاني أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٧ إلى ٠,٧٥ ملجرام منجنيز ثنائي لكل واحد ملجرام ثاني أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٨. وذلك يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بامتصاصه علي ثاني أكسيد المنجنيز في مجال رقم هيدروجيني الموضح في الشكل (١١٤). وبدون رفع الرقم الهيدروجيني فإنه بزيادة ترسيب ثاني أكسيد

المنجنيز المؤكسد يمكن زيادة إمتصاص المنجنيز الثنائي للتكاثر الموجود في الماء. ويمتص كذلك المنجنيز الثنائي علي أكسيد وإيدروكسيد الحديدك.

يتوقف كذلك إمتصاص المنجنيز الثنائي علي الرقم الهيدروجيني فكلما زاد الرقم الهيدروجيني وخاصة عند رقم هيدروجيني أكبر من ٨,٢ كما في الشكل (١١٥). يزداد إمتصاص المنجنيز الثنائي علي إيدروكسيد الحديدك ثلاث مرات عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني من ٨,٢ إلي ٨,٧. وهذا يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بالإمتصاص علي إيدروكسيد الحديدك أو أكسيد الحديدك المائي في مجال الرقم الهيدروجيني الموضح بالشكل (١١٥). وذلك بدون رفع الرقم الهيدروجيني إلي درجة غير عملية. ولذا فإن الرقم الهيدروجيني الأكثر مناسبة لترسيب إيدروكسيد الحديدك أو أكسيد الحديدك بالأكسدة هو نفس المجال للرقم الهيدروجيني لإمتصاص المنجنيز الثنائي علي كل من إيدروكسيد الحديدك أو أكسيد الحديدك أو ثنائي أكسيد المنجنيز.

ودراسة معدل الأكسدة في مجال رقم الهيدروجيني مرتفع أظهرت أن ١٠ مليجرام / لتر من أيون المنجنيز الثنائي بدون خلط والذي يقلل من إمتصاصه لأقل حد ، فإن كفاءة التفاعل هي ٩٠% في زمن ١٥ دقيقة عند رقم هيدروجيني ٩,٩٥ ، أن المنجنيز الثنائي يمكن أن يقل عند رقم هيدروجيني ١٠,١ الي ٠,٥ مليجرام / لتر أو أقل في بضع دقائق.

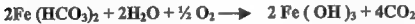
مركبات المنجنيز الثنائي والرابعي مثل للحديد الثنائي يمكن أن يكون مركبات عضوية معقدة غالبا ملونة مع أحماض الهيوميك (Humic Acids) ومواد أخرى نتيجة تحلل النباتات وهذه المركبات مثل مركبات الحديدوز تؤخر عملية الأكسدة لمركب المنجنيز الثنائي والرابعي.

### ٣- استخدام الهواء الجوي :

التهوية تعتبر للخطوة الأولى الضرورية لإزالة الحديد والمنجنيز من المياه المعزولة عن الهواء (المياه الجوفية). للتهوية تحقق السرعة في إمتصاص الأكسجين من الهواء ولتخلص من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين.

التخلص من ثاني أكسيد الكربون يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه وهذا يساعد علي التخلص من كبريتيد الهيدروجين وكذلك علي ترسيب الحديدوز الي أيدر وكسيد حديديك او أكسيد الحديديك وكربونات الحديديك للتهوية في الأبراج المفتوحة لا تزيل كل ثاني أكسيد للكربون كما ان ازالة ثاني أكسيد الكربون تقل كلما زادت القلوية او كمونها (Buffer).

تهوية المياه المحتوية علي الحديد والمنجنيز هي عملية عادية حيث أن بيكربونات الحديدوز المذابة في الماء ليس لها لون بينما أيدر وكسيد الحديديك له درجة إذابة ضعيفة (أقل من ٠.١ جزء في المليون). ونتيجة لذلك، فعند أكسدة بيكربونات الحديدوز فإن محتوى الماء من الحديد يرسب في شكل أيدر وكسيد حديديك. عملية الأكسدة هذه تكون تامة وسريعة عند رقم هيدروجيني ٧ فاعلي أما عند رقم هيدروجيني أقل فإنها تكون بمعدل بطيء جداً والتفاعل كالاتي:



أكسدة بيكربونات المنجنيز الذي نادر ما يوجد في الماء مشابه لبيكربونات الحديدوز إلا أن الرقم الهيدروجيني يجب أن يرتفع كما أن الزمن اللازم لإتمام التفاعل اكبر. لذلك عندما يكون كلا من الحديد والمنجنيز مذاب في الماء فإنه ومن الضروري رفع الرقم الهيدروجيني إلي ١٠. حيث عند رقم هيدروجيني أقل فإن الحديد يترسب والمنجنيز يظل مذاب في الماء عند الماء الأكسدة بالهواء الجوي. ويرفع الرقم الهيدروجيني بإضافة لبن الجير، والصودا الكاوية أو الصودا آش، وإزالة الحديد فقط فإنه ليس ضرورياً إضافة قلوي لأن التهوية تزيل جزيئات ثاني أكسيد الكربون بما يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني. رغم هذا فإن الزيادة في الرقم الهيدروجيني قد لا تكون كافية دائماً لإزالة الحديد، عندئذ فإنه يلزم إضافة قلوي.

#### المعدات المستخدمة في التهوية :

نوع جهاز التهوية المستخدم يتوقف علي عدة عوامل وهي المحتوي من ثاني أكسيد الكربون، الإزالة للحديد والمنجنيز وكبريتيد الهيدروجين، درجة الإزالة المطلوبة، وحجم المياه التي سيتم معالجتها.



المستخدم عادة في تصميم معدات التهوية وهو جهاز الهواء الذي يعمل بضغط الهواء والألواح الخشبية أو يرفع التهوية المملوء بمادة تحشيشية (Tower Packed). نموذج برج التهوية وتوزيع الهواء المضغوط لسحب الغازات في الشكل (١١٦) ويتكون من منشأ مغلق دائري أو مربع محتوياً على عدد من الصواني ذات الألواح الخشبية حيث الفواصل بين الألواح غير متعامدة ما بين العليا والتي تليها. للمياه تدخل من أعلا برج التهوية وتوزع بانتظام. نظراً لعدم تعامد الألواح الخشبية المكونة للصواني على بعضها البعض فإن طبقة المياه الرقيقة التي تسقط على الأطراف لأحد هذه الألواح تسقط على وسط اللوح في الصينية التي أسفلها. وعند قاع البرج فإن المياه التي يتم تهويتها تتدفق بمعزل عن الهواء إلى حوض تجميع. تتم التغذية بالهواء إلى قاع البرج بواسطة جهاز دفع الهواء (Aerator) والذي ينفعه إلى أعلا خلال برج التهوية وفي اتجاه معاكس لسقوط المياه بمعدل قدم مكعب من الهواء في الدقيقة لكل جالون في الدقيقة من المياه (بما يعادل ٣٠ لتر من الهواء في الدقيقة لكل ٣,٧٨٥ لتر من المياه). في الجزء العلوي من برج التهوية فإن للهواء مضافاً إليه المحتوي من الغازات التي أزيلت يتم سحبه من خلال عوائق هوائية (Air Baffles) إلى الجو فوق صينية الموزع والذي منها يخرج الهواء إلى الجو.

الكفاءة العالية لهذا النوع من الهوائيات يرجع إلى التحكم العكسي لكل من الهواء والماء بالإضافة إلى عمل عدد كبير من ألواح الصواني وما توفره من طبقات متجددة من المياه وتقيط للمياه. المعدل للتطبيقي المستخدم لتصميم هذا النوع من الأبراج هو ٣٠ - ٤٠ جالون في الدقيقة لكل قدم مربع. كثير من الهوائيات (Aerators) القديمة والتي سميت فيما بعد بهوائيات التلامس (Contact Aerators) كانت تتكون من صواني محتوية على فحم مجروش ويرش فوقها المياه المحملة بالحديد على طبقات الفحم بعمق من ٦ - ١٠ قدم وكانت تسمى المرشحات (Tricklers). وللحصول على أكبر سطح للتلامس فإن الوسط الترشيحي في جهاز التهوية يتكون عادة من فحم نباتي، للزلط، الرخام، الحجر الجيري حيث يتم الترشيح بعد التهوية في مرشح التلامس. وبذلك أصبح إمكان إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام الهوائيات. مرشح التلامس يستخدم فيه عادة فحم الكوك ذو أحجام كبيرة نسبياً يليه أحواض الترسيب ثم الترشيح.

وعند استخدام مادة ناعمة في جهاز التهوية بالتلامس يتم توفير مساحة كبيرة، بما يوفر فراغ كافى لاحتواء الحديد المرسب. ويستخدم في هذا المرشح فحم نباتي لحجز المواد العالقة بما يتروىب عليه عدم الحاجة الي استخدام الترسيب والترشيح. اما الهويات بالصواني ذات الثقوب الغير متعامدة علي بعضها البعض (Staggard Slot Trays) فقد استخدمت لانتالته الحديد والمنجنيز في التهوية ثم الترشيح. والهويات ذات الضغط (Pressure and Forced draft) فقد انتشر استخدامها في التهوية حيث أن أيروكسيد الحديد الراسب في وحدات التهوية التي تستخدم سحب او ضغط الهواء (Pressure or Forced draft) سوف يمكنها إلمصاص كميات صغيرة من المنجنيز الموجود في الماء.

أجهزة التهوية والترشيح وأجهزة التهوية والمكث (Detention) والترشيح تستخدم عند احتواء المياه الجوفية علي ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر من الحديد ومازالت التهوية بالصواني المتعاقبة التي بها مادة التلامس تستخدم حتي الآن. كما أدخلت نظم سرعة الترسيب للحديد بإضافة الجير - للصودا آس في حوض المكث بعد التهوية لرفع القلوية إلي ١٠٠ - ١٣٠ ملليجرام / لتر.

وفي حالة إضافة أيون النحاس (كبريتات النحاس  $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) كعامل بسيط للأكسدة قبل التهوية مباشرة حيث ثبت في أحد وحدات المعالجة أن أيون الحديدوز لكي يتأكسد إلى الحديدك إنخفض زمن المكث من ٩٠ دقيقة إلى ١٨ دقيقة بإضافة ٠,١ ملليجرام / لتر نحاس (كبريتات النحاس المائبة تزن ٣,٩٣ ضعف النحاس).

إذا كان التركيز للحديد في المياه الجوفية من ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر فإن المعالجة بالتهوية يمكن ان يليها الترويب والترغيب ثم الترسيب والترشيح. حيث يدون الترويب والترغيب فإن الحديد المؤكسد يمكن ان يتطلب من ١٢ - ٢٤ ساعة أو أكثر ليرسب تماما بينما في حالة الترسيب بالمرويات يتطلب زمن ٢ ساعة في حالة وجود المنجنيز الثنائي يلزم الأكسدة بواحد أو أكثر من المؤكسدات بجانب إزالة المنجنيز بالإلمصاص فإنه يزال كذلك بالترشيح خلال مرشح رملي حيث تتكون طبقة من ثاني أكسيد المنجنيز علي حبيبات الرمل.

بعد الترغيب والترويب تمر المياه إلى أعلا خلال طبقة الرواسب بمعدل ارتفاع أو تنفق بالتر / سم<sup>2</sup> / الثانية من السطح المؤثر. طبقة الراسب الطافي في مثل هذا الاستخدام بها تركيز للمواد العالقة حوالي ٠,٠٨ الي ١ % أو ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ ملليجرام / لتر والتي تتكون معظمها من أيدز وكسيد الحديدك وكربونات الكالسيوم وبعض أكسيد المنجنيز الرباعي المائي. وبهذا يتكون الفضل مرشح تلامسي (Contact Filter) حيث لا يوجد انسداد وذو طاقة أو إمصاص لانهائية حيث مع مرور المياه لأعلي خلال طبقة الرواسب (Sludge Blanket) يمتص المنجنيز الثنائي المتبقي والذي لم يحدث له أكسدة أثناء عملية الترويب. وبعض هذه الأيونات الممتصة تحدث لها أكسدة بواسطة الأكسجين المذاب في الماء وترسب ثنائي أكسيد المنجنيز.

#### ٤- استخدام المؤكسدات :

##### ١- استخدام الكلور :

في كثير من الحالات فإن إضافة للكلور بعد التهوية سواء في حالة التهوية / المكث (Detention). للترشيح أو التهوية. للترسيب. للترشيح يساعد على الأكسدة. ففي حالة الكلور للمياه فإنها تزيد من كفاءة المرشح.

رغم أن المنجنيز الثنائي المؤكسد إلى الرباعي لا يذوب في الماء ونظرا لأن حبيباته صغيرة جدا ولا ترسب بسهولة وفي البداية يكون لها استعداد جيد للمرور من المرشح. ولكن بعد وقت قصير بعد عملية الكلورة فإن حبيبات الرمل في المرشح تصبح سوداء إذا كان الموجود فقط هو المنجنيز ولونه بني قاتم (ما هو جاني) في حالة وجود الحديد كذلك. وهذا يرجع إلى وجود طبقة ثنائي أكسيد المنجنيز فقط أو معها أكسيد الحديدك أو أيدز وكسيد الحديدك. وعند تغطية حبيبات المرشح كما سبق ذكره فإن المرشح لا يمرر المنجنيز مطلقا ونلك بالإمصاص والأكسدة. وهذه الرواسب على حبيبات الرمل ضرورية لمنع مرور المنجنيز ولا يتم إزالتها مطلقا.

## ب- استخدام برمنجنات البوتاسيوم :

برمنجنات البوتاسيوم لها استخدامان أحدهما كمؤكسد لإزالة الحديد والمنجنيز والأخر كمؤكسد مع مرشح الزيوليت - المنجنيز. مع إضافة البرمنجنات ومادة الترويب في حوض الخلط السريع عند رقم هيدروجيني عادي يعطي نتائج طيبة وذلك لسرعة تفاعل البرمنجنات مع المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٦ فأكثر. ويمكن إضافة الكلور أولاً لأكسدة الحديد وكذلك لتوفير جزء من الكلور المطلوب ثم تستكمل الأكسدة بعد ذلك باستخدام البرمنجنات ويعتبر إضافة البرمنجنات بأهمية خاصة عند إزالة المنجنيز، حيث يلزم أن يتطابق العمل في وحدة المعالجة مع التجارب المعملة لتعيين الجرعة المطلوبة. فمثلاً في وحدة معالجة كان النظام أولاً كلور مع زمن مكث ٥-١٠ دقيقة ثم شبة ثم جير، برمنجنات. وتختلف عملية المنجنيز - الزيوليت عن عملية تبادل أيون الصوديوم في أنه بالتحديد إزالة للحديد والمنجنيز وليست عملية تحلية المياه. ويتم تنشيطها باستخدام محلول برمنجنات البوتاسيوم بدلاً من الملح العادي. ويجهز زيوليت المنجنيز من الرمل الأخضر (Green Sand) معد بالمعالجة المتبادلة بمركبات المنجنيز الثنائية وبرمنجنات البوتاسيوم منتجة أكاسيد عالية من المنجنيز داخل وخارج الرمل الأخضر. ونظراً لأن عملية التنشيط تتطلب وقت نظراً للإنحداد المستمر في المسام فقد استبدلت هذه العملية بنظام التغذية المستمر بالبرمنجنات لإستمرار التنشيط للرمل الأخضر، حيث تم وضع طبقة من الفحم النباتي فوق طبقة الرمل الأخضر لإحتواء الرواسب من أكاسيد الحديد والمنجنيز وبذلك تعمل كلا من طبقة الرمل وطبقة الفحم النباتي كمرشح. وعند تراكم رواسب الحديد والمنجنيز يتم الغسيل العكسي للمرشح طبقاً لما هو متبع في أي مرشح بالإضافة إلى مهمتها الأساسية كطبقة ترشيح فإن المنجنيز - زيوليت يعمل حقيقة كعامل درئي (Buffer) - حيث يتأكسد أي منجنيز ثنائي متبقى أو حديدوز إذا كانت جرعة البرمنجنات ضعيفة إلى حد ما. أما في حالة زيادة الجرعة فإن البرمنجنات تعمل كمنشط لطبقة المرشح من المنجنيز - الزيوليت. مع استخدام مرشح المنجنيز - الزيوليت يفضل رفع الرقم الهيدروجيني للمياه الجوفية إلى القلوية ما بين ٧,٥ إلى ٨ حيث عندئذ يتأكسد ليس فقط الحديدوز

ولكن المنجنيز الثنائي في الحال. ويستخدم المرشح من الزيوليت- المنجنيز على نطاق واسع في مجال ٠,٥ إلى ٥ ملليجرام / لتر من الحديدوز المنجنيز الثنائي، وتوجد استخدامات خاصة لتركيزات أكبر. وقد نجحت عملية أكسدة المنجنيز المتحد مع المواد العضوية باستخدام البرمنجنات.

### ج- الأوزون :

يستخدم للتطهير للمياه وأصبح منافس للكlor إلا أنه لا يحقق وجود أوزون مبقى شأن للكlor، نظراً لأنه يتحلل بوجود عامل وسيط مثل الحديد. ويعتبر من المؤكسدات البديلة للحديد والمنجنيز عند رقم هيدروجيني عادي ومتعادل. كما يصبح مؤثر في حالة وجود مواد عضوية مثل أحماض الهيوميك والفولفريك (Humic . Volvic . Acids) - عند زيادة جرعة الأوزون يعطي لون غامق كما يحدث في حالة زيادة جرعة البرمنجنات.

### د - ثاني أكسيد الكلور CLO2 :

يتميز ثاني أكسيد الكلور في أنه لا يكون للتراليهالوميثان بالإضافة إلى قدرته على أكسدة الحديد المتحد مع المركبات العضوية وكذا أكسدة المنجنيز.

### ٥- تصميم وحدة إزالة الحديد والمنجنيز :

سوف يتم توضيح سبعة طرق لهذا الغرض وهي:

- أ - التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط.
- ب- التهوية والمكث والترشيح باستخدام الهواء المسحوب.
- ج- التهوية والمكث (الانتظار)؛ الترشيح باستخدام التهوية بالصوانى المتعاقبة.
- د- الزيوليت لإزالة العسر مع الزيوليت للمنجنيز على جزء من ممر جانبي.
- هـ- مرشح الزيوليت- المنجنيز.
- و- التهوية والترسيب والترشيح.
- ز- الكلورة والترشيح.

من العوامل لرئيسة لإنتاج عملية إزالة الحديد والمنجنيز هو الترشيح المؤثر. حيث أن الوسط الترشيحي يلزم حسن اختياره. عادة للقطر المؤثر يكون أكبر من ١,٥ مم. لا يستخدم الرمل الأخضر إلا في التفتقات الصغيرة. يمكن تكوين طبقة ثائي أكسيد المنجنيز على للوسط الترشيحي بالتغذية المستمرة الأولية بالصودا الكاوية حيث تتكون طبقة غطاء ثائي أكسيد المنجنيز في خلال عدة أشهر قليلة ثم يتوقف بعد ذلك التغذية بالصودا الكاوية.

#### أ- التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد من مياه الآبار:

مع التشغيل وضخ المياه من البئر تمر المياه على فتحة في الخط الرئيسي مع تثبيت جزء من المياه يمر خلال خزان للتشبع بالهواء. ينظم تدفق الهواء من خزان التشبع بالهواء بواسطة جهاز ضبط المنسوب مع التشغيل لضغط الهواء. تندمج تدفقات الماء الهواء بعد الفتحة حتى المرشح بالضغط.

في هذا النظام يتم تشبع جزئي للمياه بالأكسجين (الهواء) كما في الشكل (١١٧).

#### ب- التهوية بالتلامس (Detention) الترشيح باستخدام الهوائية ذات الضغط (الهواء المسحوب):

يتم توجيه مياه الآبار إلى جهاز للتهوية حيث يقوم الهواء (الأكسجين) بأكسدة الحديد والمنجنيز إلى للتكافؤ الأعلى. ويتم تغذية جهاز التهوية أما من المضخة الجوفية مباشرة أو من حوض المكث (Detention Basin). وعند مرور الهواء فوق المياه في جهاز التهوية فإنه يزيل كذلك جزء من ثائي أكسيد الكربون ولذا يرتفع الرقم الهيدروجيني للماء بأسرع من أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز في شكل الأيدروكسيدات. ورغم أن التهوية بسحب الهواء (Forced draft Aerator) مع حوض المكث قبل الترشيح يستخدم في إزالة الحديد والمنجنيز إلا أن استخدامها الرئيسي كان للمياه المحتوية على ١٠-٥ مل/جرام / لتر شكل رقم (١١٨) حوض المكث مطلوب لتوفير الزمن اللازم للتفاعل نظرا لأن التفاعلات لا تتم في الحال.

كما يجب أن تعرف أن الرقم الهيدروجيني له تأثير علي زمن إتساع التفاعل. وتشتدط مواصفات التصميم الحالية زمن تلامس (مكث) من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة في حوض المكث. الحديد المؤكسد الغير قابل للنوبان في الماء هناك حدود لإمكان إزالته في المرشحات بما يتطلب توفير للعوائق في حوض الترسيب لتحقيق زمن التلامس والتأخير المطلوب والترسيب.

في حالة التصميم لإزالة ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر حديد فإن حوض المكث يستبدل بحوض الترسيب الذي تسبقه عملية الترويب والستزغيب في حوض التفاعل. ولذا فكلما زاد زمن الترسيب في حوض الترسيب كلما اكتمل التفاعل وكلما ترسبت المواد الغير مذابة بما يقلل من الأحمال علي مرشح للضغط الذي يلي حوض الترسيب.

\* في سحب الهواء في جهاز التهوية كما في الشكل السابق (١١٨) يدخل الهواء الي اسفل جهاز التهوية بواسطة جهاز ضغط الهواء، يتدفق الهواء إلى اعلي ملامسا سطح الماء المتدفق من اعلي علي الصواني المتعاقبة. الجهاز مقل تماما ويعمل عند ضغط من ١ - ٣ بوصة ضغط هواء استاتيكي (Static Air Pressure) الماء يتساقط من اعلي خلال موزع بحوائط مانعة حيث يسمح للهواء بالخروج مع استمرار المحافظة علي الضغط (Baffled distribution System).

\* والبديل لهذه الوحدة هو دفع الهواء لوحدة التهوية وفي هذه الحالة يتم وضع جهاز ضغط الهواء اعلي برج التهوية حيث يدفع الهواء إلى أعلا من خلال مدخل متقبة سفلية. جهاز التهوية بالضغط أو بالدفع له شكل مربع أو مستطيل مع وجود جانب يمكن سحبه او فكه في حالة الحاجة إلى عمل النظافة. في الأصل كانت الصواني من الخشب الأحمر ولكنها الآن من الألومنيوم أو البلاستيك. الجزء الخارجي يمكن تصنيعه من الخشب البحري أو الصلب المغطى أو الألومنيوم أو من الفيبير جلاس المقوي. يعتبر التهوية بالضغط أو بالدفع أكثر كفاءة من الصواني المتعاقبة او وحدات صواني الكوك بالإضافة إلى ان وحدات التهوية بالهواء المضغوط او المسحوب تعمل بكفاءة أكثر من ٥٠ %

تتفق عن الصواني المتعاقبة أو بفحم الكوك. مما يترتب عليه إمكان صغر حجم للوحدات.

ج- التهوية، التلامس (التأخير)، الترشيح باستخدام التهوية بالصواني المتعاقبة:

#### **Aeration, Detention, and Filtration using Multiple Tray Aerators**

هذا النظام مثل النظام السابق عدا وحدة التهوية. وهو عادة ما يستخدم لإزالة الحديد والمنجنيز عندما تكون نسبتهم من ٥ إلى ١٠ ملليجرام / لتر. التهوية بوحدة الصواني وفحم الكوك كما في الشكل (١١٩) ما زالت تستخدم حتى الآن. حيث تتدفق المياه إلى أسفل خلال صواني التوزيع والتي تملأ عادة إلى سمك ١٠ إلى ١٥ سم بقطع من فحم الكوك بسمك ٥ إلى ١٠ سم أو بسبخ الحديد بدلا من الكوك - اللقوب في قاع صواني الكوك تسمح للمياه بالتدفق إلى أسفل حوض التجميع أسفل وحدة التهوية. وحدة التهوية إما مربعة أو مستديرة وتتكون من ٣-٥ صواني. الهواء المار فوق الصواني ملاصقا لسطح الماء الرقيق فوق فحم الكوك يؤكسد الحديدوز والمنجنيز الثلاثي. وبعد فترة تشغيل تتكون طبقة على سطح فحم الكوك والتي تساعد في عملية الأكسدة. ولذا فإن نواتج الأكسدة يمكن ان تحدث انسداد في التصريف للمياه مما يتطلب تنظيفها أو استبدال الكوك كما في الشكل رقم (١١٩).

د- إزالة العسر بالزيوليت باستخدام المنجنيز - الزيوليت

#### **Zeolite Softener with Manganese Zeolite On By Pass portion**

هذا النظام يحقق إزالة العسر الي الحد المقرر سبقا. ولكن بإزالة عسر الحديد والمنجنيز. حيث يتم التحكم في تدفقات المياه من البئر الي جهاز للزيوليت لإزالة العسر علي أساس نسبة إزالة العسر المطلوبة. نظرا لأن جهاز إزالة عسر للزيوليت يزيل كاتأيونات العسر ومنها كاتأيونات الحديد والمنجنيز مما يتطلب عدم تعرض المياه للمؤكسدات أو الهواء الجوي أو كيماويات المعالجة قبل دخولها الي جهاز إزالة العسر حتى لا يحدث انسداد بواسطة نواتج الأكسدة. والجزء الآخر من المياه الخارجة من البئر يتم توجيهها مع تدفقات الكيماويات من البرمنجنات والقلوى الي وحدة المعالجة لإزالة الحديد والمنجنيز بما يحدث تأثير قليل على



كأنيونات العسر. يتم خلط المياه الخارجة من وحدة إزالة العسر مع المياه المعالجة في وحدة إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام زيوليت المنجنيز في الترشيح. عندئذ تكون المياه بالعسر المطلوب مع خلوها تماما من الحديد و المنجنيز. شكل (١٢٠).

#### هـ- نظام الترشيح باستخدام زيوليت المنجنيز :

يتم التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم وقلوي (عند الحاجة لرفع الرقم الهيدروجيني) على أساس المتوسط من مطالب البرمنجنات. نظام التغذية بالكيمويات متصل بنظام تحكم تشغيل البئر. تتم الأكسدة للحديد والمنجنيز في الخط في طريقها إلى المرشحات. نقطة التغذية بالكيمويات تكون قريبة ما أمكن من البئر لتوفير الزمن اللازم للتفاعل شكل (١٢١). ترسب نواتج الأكسدة على سطح طبقة الترشيح من الفحم النباتي ذات الحجم الكبير حيث بذلك تحتجز هذه الرواسب. ونظرا لأن البرمنجنات تغذي طبقة لمتوسط المطلوب فإن الزائد منها يتم امتصاصه بواسطة زيوليت المنجنيز. زيوليت المنجنيز عبارة عن مادة في شكل حبيبات سوداء ذات قطر منخل ١٦ - ٥٠ (16 - 50 Mesh) والوزن ٩٨ رطل / القدم المكعب. كل قدم مكعب له طاقة ٠,٠٩ رطل من الحديد والمنجنيز. ظروف التشغيل توفر تدفق المرشح من ٣ إلى ٥ جالون في الدقيقة / القدم المربع مع معدل غسيل عكسي من ٨ - ١٠ جالون في الدقيقة / القدم للمربع. عادة يكون الهواء مطلوب للغسيل عندما يزيد تركيز الحديد الداخل عن ٣ - ٥ مليجرام / لتر. معدلات التدفق الأعلى للوحدات المزدوجة، وذلك عندما تكون أحد الوحدات في الغسيل العكسي أو التنشيط في التشغيل تكون المياه المنتجة للرشح الذي تم ضبط أداءه لا يكون لها لون يظهر عدم التفاعل للبرمنجنات.

كما يوفر النظام ميزة نظام التشغيل بالهواء المضغوط بمضخة واحدة. بالإضافة وطبقا لتركيز الحديد الموجود يمكن أن تعمل الوحدات بمعدل حتى ٥ جالون / الدقيقة للقدم المربع. ونظرا لأن معدل الغسيل العكسي المطلوب هي ٨٠% بالنسبة للمرشح الرملي، لذلك فإن مياه الغسيل العكسي تكون أقل. عادة فإن رمل الزيوليت الأخضر يتم إنتاجه من المحاجر ثم تنظيفه وتدرجه، ثم تنشطه باستخدام

كلوريد المنجنيز (Manganous Chloride) لتحويلها الي زيوليت المنجنيز. كما هو موضح بالشكل رقم (١٢١).

#### و- التهوية / الترسيب / الترشيح : شكل رقم (١٢٢) Aeration ,Settling,And Filtration

عندما تكون كميات الحديد أو المنجنيز أو كليهما مرتفعة (١٠ ملليجرام / لتر أو أكثر) يتم إزالتها بنظام التهوية ثم الترشيح . في هذا النظام تمر المياه المتدفقة من البئر خلال جهاز التهوية، التهوية بفحم الكوك مبين في الشكل التالي (١٢٢) حيث استخدام صواني فحم الكوك أو الصواني المتعاقبة محدود للمياه المحتوية على أقل من ٣٠-٤٠ ملليجرام / لتر من ثاني أكسيد الكربون. أما التهوية بسحب أو ضغط الهواء وأن كانت أقل من التهوية بصواني فحم الكوك أو الصواني المتعاقبة إلا أنها أكثر كفاءة في عملية الأكسدة وإزالة ثاني أكسيد الكربون بما يعمل على رفع الرقم الهيدروجيني وبالتالي يزيد من تكون وترسيب هيدروكسيدات الحديد والمنجنيز.

يتم توجيه المياه من وحدة التهوية إلى وحدة للترويق الذى يعمل بطريقة امتصاص المواد الصلبة (Solids Contact Clarifier) حيث زمن المكث فى وسط غرفة التفاعل (الترويب - للتزغيب) لا يقل عن عشرين دقيقة. تزداد القلوية للمياه ليس فقط فى جهاز التهوية ولكن بإضافة قلوى ويفضل ان يكون للجير المطفئ أو لين الجير (Lime). معدل الصعود المؤثر للمياه هو ٣ لتر / ق / ٠,١ متر مربع من المساحة المؤثرة والذي يمثل زمن مكث يعادل ٢ ساعة. بعض المصممين يحدد معدل الارتفاع فى منطقة فصل الراسب بما لا يزيد عن ٣,٢ لتر / ق / ٠,١ متر مربع. والععمق الجانبى للمياه من ٣-٤ متر وأقصاه هو ٥ متر، كما يتم توفير مساحة اكبر لصعود المياه فى المروب بما يوفر طبقة متسعة من الراسب. نظراً لان كل المياه تمر من خلال هذه الطبقة للتراسب فانه تتحقق الاستفادة من الكيماويات وكذلك الاستفادة بالعامل للمساعد من الرواسب المتكونة. ثم تسحب المياه من مأخذ علوى. مع تراكم الراسب يصبح أكثر كثافة ويرسب الى قمع تجميع الرواسب. تدفع للمياه من حوض تجميع المياه فى المروق بفرق المنسوب او

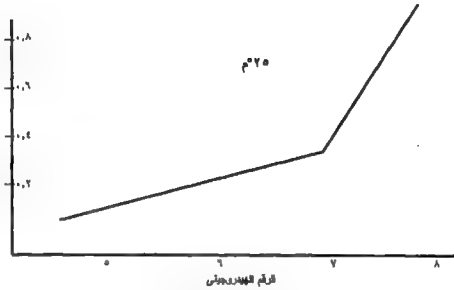
بواسطة مضخة. ثم تُضخ المياه إلى مرشح الضغط أو مرشح الجاذبية كما في الشكل (١٢٢). تُضخ المياه للمتجعة أسفل المرشح إلى الخدمة.

يتم التحكم في سحب الراسب من خلال مخرج السحب بواسطة محبس يعمل بالتحكم الموقت. وعند تكون كميات كبيرة من الراسب فإن نظام سحب الراسب يعطى دفعة مياه مرشحة إلى حوض غسيل المياه بعد كل استخدام بدون حدوث أى تدخلات أو إعاقة.

### ز- الكلورة والترشيح : Chlorination And Filtration

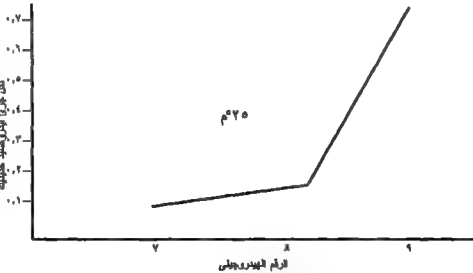
توجد طرق أخرى بديلة لما سبق ذكره. من هذه الطرق المستخدمة عادة هي الكلورة ثم الترشيح في مرشح ذو وسط ترشيحي واحد. يتم ضبط الرقم الهيدروجيني لتحقيق أقصى أكسدة وترسيب بإضافة لبن الجير مع زمن مكث ١٠ - ٣٠ دقيقة. الوسط الترشيحي المناسب هو الفحم النباتي شكل (١٢٣).

جزء من المنجنيز التثالي لكل جزء من المنجنيز التثالي أو  
مجموع من التثالي لكل مجموع من التثالي ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ )

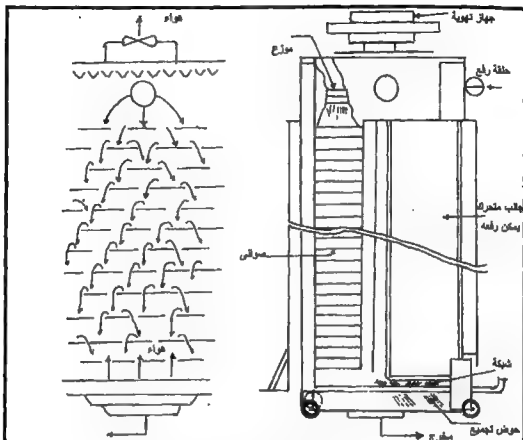


شكل (١١٤) معدل إخمصاص المنجنيز التثالي بواسطة ثاني أكسيد المنجنيز بدلاً من الرقم الهيدروجيني

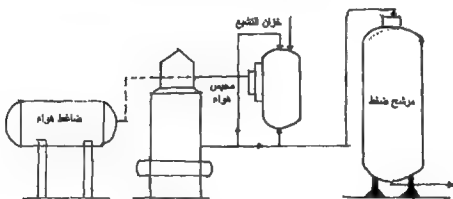
جزء من المنجنيز التثالي لكل جزء من الحديد التثالي أو جزء من المنجنيز التثالي  
الكل جزء من الحديد التثالي أو جزء من المنجنيز التثالي



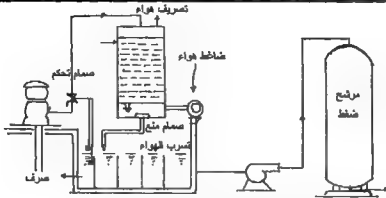
شكل (١١٥) معدل إخمصاص المنجنيز التثالي بواسطة إيدروكسيد الحديد  $\text{Fe(OH)}_2$



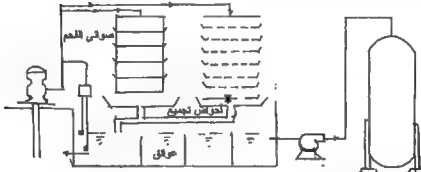
شكل (١١٦) مكونات برج التهوية من صواني الألواح الخشبية لعمل التهوية وإزالة الغازات المذابة



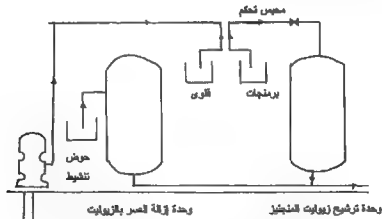
شكل (١١٧) للتهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد



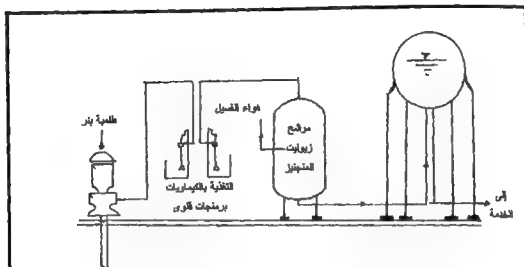
شكل (١١٨) التهوية / الإلتصاق / الترشيح باستخدام الهواء المضغوط



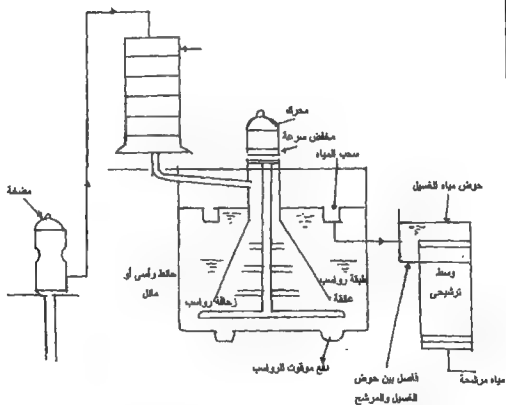
شكل (١١٩) إزالة الحديد والمنجنيز بالتهوية / الإلتصاق / الترشيح



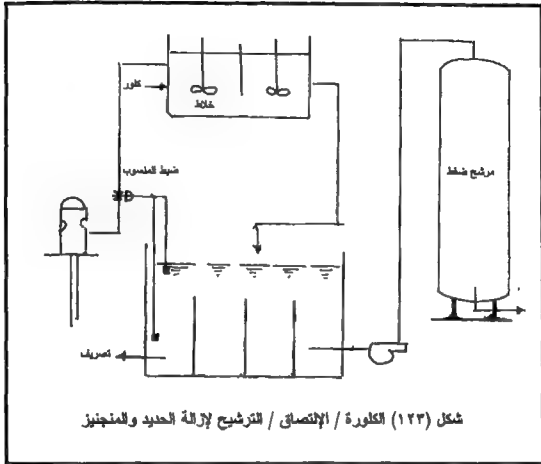
شكل (١٢٠) إزالة الحديد والمنجنيز مع الإزالة الجزئية للعسر



شكل (١٢١) مرشح زيوليت المنجنيز لإزالة الحديد والمنجنيز



شكل (١٢٢) التهوية / الترسيب / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز لأكثر من ١٠ ملجم/لتر





## القسم الخامس

# التخلص من المواد المشعة والكيماوية ذات التركيز المنخفض جدا

### ١- إزالة الملوثات من المواد المشعة : Removal Of Radioactive Contaminants

يعتبر الراديوم المستحضر المشع السائد في بعض مصادر المياه الجوفية حيث التربة الحاملة للخران الجوفى تكون محتوية على هذا العنصر. كما ان مصادر التلوث بالمواد المشعة من صنع الانسان مثل التريليوم والاسترنشيوم ٩٠ والتي تلوث المجارى السطحية في حالة الصرف العشوائى الغير معالج. ويترز خطورة هذه الملوثات على الصحة العامة في حالة زيادة تركيزها عن ٥ كورى (5PCi). توجد ثلاث طرق لإزالة المواد المشعة من مصادر المياه السطحية أو الجوفية وهى.

. إزالة العسر بالجير أو بالجير الصودا (Lime Or Lime Soda).

. إزالة العسر بالتبادل الأيونى.

. التناضح العكسى Reverse osmosis.

يمكن بهذه الطرق إزالة المواد المشعة من المجارى السطحية بنسبة ٩٠% كما إن المعالجة لأي من هذه الملوثات (من المصادر السطحية أو الجوفية) بطريقة

إزالة العسر بالجير يمكن أن يزيل حتى ٩٠% من الراديوم في الماء إذ كان تركيزه حتى ٢٥ كوري (25pci) عندما يكون الرقم الهيدروجيني أكبر من ١٠ أما التبادل الأيوني فيمكن أن يزيل حتى ٩٥%، التناضح العكسي يزيل ٩٥%، من الراديوم جنباً إلى جنب مع إزالة النسبة العالية من للملاح الكلية المذابة.

يتم التخلص من مياه الصرف بأى من تقنيات المعالجة ليس فقط بسبب المواد المشعة ولكن بسبب المحتوى العالى من الأملاح. عندئذ يمكن التخلص باستخدام آبار الحقن الجوفى (Ingection Wells) بحيرات البحر (Evaporation Lagoons) أو باستخدام نظام باستخلاص هذه المواد.

### ٣- تقنيات المعالجة لخفض تركيز الملوثات لبعض الكيماويات في المياه :

الجدول (١٨) يبين تقنيات المعالجة للتلوث المفاجئ للمياه عند عدم وجود بديل للاستخدام.

الجدول (١٩) بين عدد المعالجات الست لمعالجة الملوثات من المصادر الجوفية أو السطحية وهى الكلورة، إزالة العسر بالتبادل الأيوني، الترشيح، التناضح العكسي، التقطير، الأشعة فوق البنفسجية.

## جدول (١٨) إزالة وخفض الملوثات المؤثر من مياه الشرب

| المعالجة  | المشكلة العامة من الكيماويات                              |
|---|---|
| ٢   | ١   |
| الترسيب بكميات الحديد مع رفع الرقم الهيدروجيني بالجد إلى ٦,٨ ثم الترسيب والترشيح.   | مركبات الزرنيخ بتركز حتى ١٠٠ ملجم/لتر                     |
| الكورة مسبقة لتوفير الكلور الحر عند رقم هيدروجيني ٧ ثم الترويب والترسيب والترشيح يلزم مراعاة التهرية. مع ملاحظة أن الترسيب باستخدام أملاح الحديد أو الحديدوز لتكوين أزرق بروسيا (Brussian Blue) وهو (Iron ferric cyanide) ثم الترويب والترسيب والترويق، طالما أن هناك زيادة في إضافة الحديد فإن المياه المرشحة لا تكون سامة حتى ولو كان لونها أزرق. | مركبات السيانيد؛ الأميتون سيانو هيدروين كلوريد السيانوجين |
| الكورة العالية عند رقم هيدروجيني ٧ لتوفير ما لا يقل عن ٤٠ ملجم/لتر كلور متبقى مع زمن مكث والتصاق ٣٠ ق ثم إزالة الكلور ثم الترويق العادي   | مولد الأعصاب (مركبات الفسفور العضوية)                     |
| الكورة الذائدة عن رقم هيدروجيني ٧ قلوي بإضافة الجير أو الصودا ثم لتوفير كلور حر. يلزم أجزء من الكلور للتفاعل مع ١ جزء LSD   | مركبات عضوية أخرى LSD (Lysergic Acid Derivatives)         |
| الإنمصاص على الفحم المنشط ثم الترويب والترسيب والترشيح  | مبيدات الحشرات: Pesticides ٤، ٢-دا يكلورو فيتول           |
| الترويب والترسيب والترشيح   | DDT بتركز ١٠ جرام/لتر                                     |
| الترويب والترسيب والترشيح قد يكون من الضروري عمل معالجة إضافية بالفحم المنشط مثل الدابا لدرين   | الدابا لدرين ١٠ جرام/لتر                                  |
| استخدم الفحم المنشط ثم الترويب والترسيب والترشيح  | الاندرين ١٠ جرام/لتر                                      |
| قد يكون من الضروري الإنمصاص على الفحم المنشط. لا تستخدم الكورة المسبقة نظراً لتفاعل الكلور مع البارليثون ليكون البار أكسون والذي هو أشد سمية من البارليثون  | اللتكين ١٠ جرام/لتر<br>بارليثون ١٠ جرام/لتر               |

## جدول (١٩) المعالجات لإزالة الملوثات من المواد الصلبة العذبة

| المشكلة العامة للمياه | الملوثات من المواد الصلبة العذبة | تبادل كاتيونى | الكلورة | لترشيح بالفلح | لترشيح عكسى | تناضج والتخثر | الغليان | الاشعة البنفسجية |
|-----------------------|----------------------------------|---------------|---------|---------------|-------------|---------------|---------|------------------|
| جسيمات عالية          | رمل                              |               |         | x             |             |               | x       |                  |
| جسيمات عاقلة          | طفلة                             |               |         | x             |             |               | x       |                  |
|                       | جسيمات صدا                       |               |         | x             |             |               | x       |                  |
| مواد غير عضوية        | زرنوخ                            | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | الباريوم                         | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | كالميوم                          | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | كالمسيوم                         | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | كروم                             | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | نحاس                             | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | حديد                             | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | رصاص                             | x             |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | مغنيسيوم                         | -             |         |               |             |               |         |                  |
|                       | منجنيز                           | x             |         |               |             |               |         |                  |
|                       | زئبق                             | x             |         |               |             |               |         |                  |
|                       | راديوم ٢٢٨، ٢٢٦                  |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | سيلينيوم                         |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | فضة                              |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | صوديوم                           |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | إستر نشيوم ٩٠                    |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | زئبق                             | x             |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | كلوريدات                         |               |         |               |             | x             |         |                  |
|                       | الكلور                           |               |         |               | x           |               |         |                  |
|                       | فلوريدات                         |               |         |               |             | x             |         |                  |
|                       | نترات                            |               |         |               |             | x             |         |                  |
|                       | كبريتات                          |               |         |               |             | x             |         |                  |
|                       | كبريتيد                          |               |         |               |             | x             |         |                  |
|                       | بنزين                            |               |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | الترايهالوميثان                  |               |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | منبيات بترولية                   |               |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | مبيدات حشرية                     |               |         |               | x           |               | x       |                  |
|                       | تاينز (مولد هيوميك)              |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | رائحة                            |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | مذاق                             |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | طحالب                            |               |         |               |             | x             | x       |                  |
|                       | بكتريا                           |               | x       |               |             | x             | x       | x                |
|                       | فيروسات                          |               | x       |               |             | x             | x       | x                |
| بيولوجى               |                                  |               |         |               |             |               |         |                  |

## ٣- إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية :-

يمكن أن توجد الملوثات من المواد الغير عضوية في مصادر المياه في الشكل للكاتأيوني أو الآن أيوني وفي حالات مختلفة من الأكسدة للكيماوية (التكافؤ) أو في شكل مركبات مركبة تكونت مع مركبات عضوية.

تعتبر حالة التكافؤ والحالة الأيونية للملوثات الغير عضوية مهمة حيث أنها عادة تؤثر على الإذابة وكذلك المعالجة بطرق المعالجة المختلفة. كثير من المعادن الثقيلة التي توجد كإيدروكسيد أو كربونات معقدة (كاتأيونات) تكون قابليتها للذوبان قليلة وبذلك تزال بسرعة بالمعالجة التقليدية. أما الشكل الآن أيوني مثل الزرنيخ والسلينيوم يصعب معالجتها ويتوقف إزالتها على حالة التكافؤ التي بها الآن أيون. الجدول (٢٠) يوضح معظم الأشكال الأيونية للتكافؤ للمصادر الرئيسية لأحتمالات حدوث الملوثات الغير عضوية.

جدول (٢٠) الأشكال الرئيسية ومصادر الملوثات الغير عضوية

| الملوثات      | التكافؤ                | الشكل الرئيسي في الماء                | المصادر       | احتمالات الوجود             |
|---------------|------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| الزرنيخ       | زرنيخ ثلاثي 3          | أن أيون $AsO_3$                       | التربة        | مياه جوفية                  |
|               | زرنيخ خماسي 5          | أن أيون $AsO_4$                       | الصناعة       | مياه سطحية                  |
| الباريوم      | ثنائي                  | كاتيون $Ba^{++}$                      | التربة        | مياه جوفية                  |
| الكاديوم      | ثنائي                  | كاتيون $Cd^{++}$                      | ناتج التآكل   | شبكة التوزيع                |
|               |                        |                                       | الصناعة       | مياه سطحية                  |
| النحاس        | ثنائي                  | كاتيون $Cu^{++}$                      | ناتج التآكل   | شبكة التوزيع                |
|               |                        |                                       | الصناعة       | المياه السطحية              |
| الفلوريد      | أحادي                  | أن أيون $F^-$                         | المناجم       | المياه الجوفية شبكة التوزيع |
| الرصاص        | ثلاثي                  | كاتيون $Pb^{+++}$                     | لتآكل         | المياه السطحية              |
|               |                        |                                       | الصناعة       | المياه السطحية              |
| الزئبق        | ثنائي (عضوي وغير عضوي) | كاتيون $Hg^{++}$<br>كاتيون $CH_3Hg^+$ | الصناعة       | مياه جوفية                  |
| الفنترات      | أحادي                  | أن أيون $NO_3$                        | الزراعة       | مياه جوفية                  |
| الرادنيوم ٢٢٦ | ثنائي                  | كاتيون $Ra^{++}$                      | منجم          |                             |
| السيلينيوم    | رباعي                  | أن أيون $SeO_3$                       | الصناعة       | المياه السطحية              |
|               | سداسي                  | أن أيون $SeO_4$                       | معالجة المياه | المياه المعالجة بالبكتيريا  |
| الفضة         | أحادي                  | كاتيون $Ag^+$                         | ناتج التآكل   | إزالة الفضة                 |
| الزرك         | ثنائي                  | كاتيون $Zn^{++}$                      | ناتج التآكل   | شبكة التوزيع                |

مبادئ التصميم لعمليات المعالجة للمواد الغير عضوية :

عدا عمليات التقطير والتحلية المستخدمة في معالجة مياه الشرب في الدول الغنية، فإنه لا توجد عليه معالجة منفردة ومؤثرة في إزالة كل الملوثات من المواد الغير عضوية. ولكن لحسن الحظ كثير من هذه الملوثات يمكن إزالتها في عمليات ترويب المياه أو في عمليات إزالة العسر والتي يتوقف قدرتها في الإزالة على الرقم الهيدروجيني، المروب المستخدم، جرة المروب، التركيز الأولي للملوث، وشكل وحالة التكافؤ للملوث. من أهم هذه المتغيرات الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة.

التبادل الأيوني يمكن أن يكون مؤثرا في حالة عدم إمكان إزالة الملوث بطريقة الترويب التقليدية أو بإزالة العسر بواسطة الجير. عمليات الأغشية مثل التناضح العكسي والأليكتروديسيس رغم ارتفاع تكلفتها إلا إنها مؤثرة في إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية. إزالة الملوثات الغير عضوية من مصادر المياه لأغراض الشرب يمكن أن تختلف كثيرا من مصدر إلى مصدر آخر. أي عملية معالجة يجب أن تختبر معمليا أو على المستوى النصف صناعي (Pilot-Scale)، على استخدام المياه الحقيقية المطلوب معالجتها وذلك قبل البدء في التصميم الفعلي لعملية المعالجة. الجدول (٢١) يوضح العمليات القابلة للتنفيذ والملوثات القابلة لأزاله بهذه العمليات.

جدول (٢١) للتقنيات القابلة للتطبيق في إزالة الملوثات الغير عضوية

| الفهم للمنشط                            | التناضح العكسي                                | منع لتاكل                                   | التبادل الأيوني   | إزالة العسر بالجير - الصودا                                   | الترويب باستخدام أملاح الحديد أو الألمنيوم  |
|---|---|---|---|---|---|
| يزيل الزئبق المكون لمركب مع مولا عضوية. | يزيل كل المكونات الغير عضوية بما فيها المشعة. | مؤثر في إزالة النحاس الرصاص الزنك الكاديوم. | الباريوم، الكاديوم، الفلور، النترات، السيلينيوم فرياضي. | الزرنيخ، الباريوم، الكاديوم، الفلور، الرصاص، الراديوم، الفضة. | الزرنيخ، الكاديوم (أملاح الحديد)، الكروم الثلاثي، الكروم السداسي، (أملاح الحديد)، الزئبق (غير عضوي)، السيلينيوم، الفضة. |

يمكن تعريف المعالجة التقليدية بأنها الترويب الكيميائي باستخدام أملاح الألومنيوم أو الحديد وكذلك إزالة العسر بالجير أو الجير - الصودا. وتشمل عملية المعالجة التقليدية للخط، الترويب، الترسيب، الترشيح وسبق شرح مراحلها.

إزالة الملوثات الغير عضوية في المعالجة التقليدية يمكن أن تكون إما بترسيب المواد الغير مذابة من الأيدروكسيدات أو الكربونات لهذه المعادن أو بالترسيب مع أيروكسيد الحديد أو الألومنيوم أو بالانمصاص مع العكارة الطبيعية أو على جسيمات الزغبات المتكونة نتيجة تميؤ أملاح الترويب مع الماء. ترسيب الكاديوم والرصاص والفضة يحدث بسرعة أثناء المعالجة التقليدية في حالة التحكم في الرقم الهيدروجيني.

لترسيب للملوثات العضوية التي تكون مركبات معقدة لا تنوب ترسيب مع المرويات، الحديد والألومنيوم (Coprecipitation). أملاح الحديد عموماً أكثر تأثيراً في إزالة الملوثات الغير عضوية في المحلول والرقم الهيدروجيني هام عند تقرير الإزالة بالترسيب بالاتصاق مع المواد المروية.

فمثلاً الزرنيخ يمكن إزالته عند التكافؤ الخماسي ولكن نقل إزالته كثيراً عند التكافؤ الثلاثي.

المعادن مثل الرصاص، الفضة، الزئبق تمتص بسهولة على العكارة للمياه للعكرة أو على الزغبات لمواد الترويب. إزالة هذه المعادن تتوقف على العكارة في المياه العكرة، وطبيعة الزغبات المتكونة في عملية الترويب، الإزالة الكلية للعكارة.

## ٤- إزالة الملوثات من بقايا المواد العضوية: Trace Organics

مشاكل القابلية الخاصة بالمذاق والرائحة واللون معروف إنها نتيجة تأثير المواد العضوية الموجودة طبيعياً بكميات صغيرة جداً وبتراكيز ضعيفة في مياه الشرب. بالإضافة إلى أن الكيماويات المخلفة من صنع الإنسان من المواد العضوية

في زيادة سريره. ولتوفير مياه شرب مقبولة وخالية من السمية زاد الاهتمام بإزالة هذه الملوثات.

المواد العضوية هي كيماويات تحتوي على عنصر الكربون تنقسم إلى خمس أقسام من وجه نظر معالجة المياه وهي:

- مواد عضوية مسببة للرائحة مثل مادة جيوسمين (Geosmin).
- مواد عضوية مخلفة مثل المبيدات والمخصبات.
- مواد عضوية تتفاعل مع الكلور مكونه الترايهاالوميثان.
- مواد عضوية تتفاعل مع الكلور منتجة مواد عضوية مكوره مثل الأستوتون.
- مواد عضوية طبيعية.

### وجود الملوثات العضوية وقياساتها

المياه السطحية عموما هي الأكثر عرضه للتلوث بعديد من بقايا المواد العضوية أكثر من المياه الجوفية وإن كانت المياه الجوفية تتأثر بالمواد العضوية المخلفة المستخدمة في الزراعة كالمخصبات والمبيدات شأنها شأن المياه السطحية.

### أ- إزالة الملوثات العضوية بالمعالجة للمياه :

#### (١) الترسيب والترشيح :

إضافة مواد الترويب لإزالة العكارة أو رفع الرقم الهيدروجيني لإزالة الكالسيوم والمغنسيوم في عمليات إزالة العسر تحقق إزالة لبعض المواد العضوية. ويمكن قياس ذلك بخفض التركيز للكربون العضوي بنسبة تصل إلى ٥٠% في بعض أنواع المياه وكذلك يخفض اللون. وإن كانت الفروقات تأثيرها قليل في إزالة المركبات العضوية المكورة. الترشيح مؤثر في إزالة اللون والعكارة ولكنه قليل التأثير في إزالة المركبات العضوية المكورة.



## (٢) التهوية:

تم مناقشة التهوية لأكسدة الحديد والمنجنيز. ميزه التهوية في إزالة المواد العضوية هي أن المواد العضوية تزال من الماء بدون تكون منتجات جانبية. أما سلبات التهوية فهو أن هذه الملوثات المزالة تلوث الهواء الجوي. توجد عوامل متعددة ذات تأثير على إزالة المركبات العضوية من الماء بالتهوية. بين هذه العوامل زمن الالتصاق (Contact Time) ونسبة الهواء إلى الماء ودرجة حرارة الماء وضغط البخار وإزالة الملوثات. العاملان الأخيرين يمكن الاستفادة بها في تقدير جدوى التهوية. ولتوضيح ذلك وطبقاً لقاعدة هنري (Henrey's law) التي تنص على أنه عند إزالة مركب في الماء فإن الضغط الجزئي للمركب (Partial Pressure) يتغير طبقاً لتركيز المركب في السائل كالمعادلة  $P=C$

حيث  $p$  = الضغط الجزئي،  $c$  = التركيز في السائل

ولهذا  $P=HC$  حيث  $H$  معامل قاعدة هنري

إذن  $H = P/C$

مقلوب معامل هنري  $1/H$  يسمى معامل التجزئة. وهذا المعامل دليل لأدنى نسبة بين الهواء والماء لإزالة المركبات العضوية المتطايرة. تزداد كفاءة التهوية كلما زادت قيمة المعامل  $H$  وهذه تزداد كلما انخفض الوزن الجزيئي للمركب العضوي وأفضل أبراج التهوية ذات التحشية الزلطية (Packed Tower).

## (٣) الأدمصاص : Adsorbtion :

الأدمصاص يتأثر بدرجة الحرارة والرقم الهيدروجيني للماء ويتوقف على خصائص وتركيز المادة العضوية وزمن الالتصاق وطريقة تنفيذ الأدمصاص. ومادة الأدمصاص سواء كانت بوفرة الفحم المنشط أو حبيبات الفحم المنشط.

## ٥- حبيبات الفحم المنشط: (GAC).

يستخدم في هذه الحالة برج تهوية محتوى على عامود من حبيبات الفحم المنشط لإنتاج مياه محتوية على تركيز ضعيف جدا من المواد العضوية. القطر المؤثر ومعامل التجانس لحبيبات الفحم المنشط المناسبة للاستخدام كوسط ترشيحي وكعامل ألمصاص موضع في الجدول (٢٢)

جدول (٢٢) خصائص حبيبات الفحم المنشط المستخدم كوسط ترشيحي لإزالة المواد العضوية

|           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| ٠.٦       | القطر المؤثر بالمليمتر        |
| $\geq 19$ | معامل التجانس                 |
| ٠.٤٧      | الكثافة (لغرام)               |
| ١١٠٠-١٠٠٠ | المساحة السطحية متر مربع/جرام |
| ١٠٥٠-٩٥٠  | الرقم اللويدي                 |

ويعتبر هذا النظام بديل عن الرمال في العمل كمرشح. ولكن نظرا لأنه وسط ترشيحي واحد فإن حبيبات الفحم المنشط توفر ترشيح سطحي وليس ترشيح بالعمق ولذلك دورة المرشح تكون أكثر من دورة المرشح المحتوى على أكثر من وسط ترشيحي ولكنها تشابه المرشح الرملي. عامود الترشيح في برج التهوية يجب أن يوفر معافاة عليا خالية من حبيبات الفحم بطول ٣٠ إلى ٥٠ % لتلائم التمدد أثناء عملية الغسيل. الفحم المنشط عندما يبتل يصبح شديد اللدوانية ولذلك تكون مواد الإنشاء متوفر لها الحماية الداخلية أو تكون من الصلب المقاوم أو الخرسانة المسلحة حيث أسياخ الصلب المغطاة بسمك لا يقل عن ٥ سم من الخرسانة. وكذلك تكون المواسير والوصلات والمحابس وأحواض التخزين وكاشطات الخبث السطحي كلها معرضة للتآكل بما يتطلب حمايتها. للغسيل لحبيبات الفحم المنشط ليس صعبا ولكن يحتاج إلى مراقبة مستمرة من العاملين، حيث الزيادة المفاجئة في الغسيل تسبب الفقد المباشر لخروج المياه والمادة من الأحواض، نظرا للتمدد بنسبة ٣٠ إلى ٥٠ % عند الغسيل بمعدل ٣٥-٩٠ متر مكعب على المتر المربع من سطح الحوض.

إعداد المياه للشرب

حبيبات الفحم المنشط المبللة لها كثافة أقل من كثافة الرمل (١,٤ جرام / سم<sup>٣</sup> مقابل ٢,٦ جرام / سم<sup>٣</sup>)، لذلك تستخدم مياه الغسيل ببطيء حيث يكون معدل الزيادة بطيء حتى تمام تمدد طبقة الفحم المنشط، كما يلزم الحرص عملياً لمنع الارتفاع الكامل لطبقة الفحم المنشط ككتلة بما يتلف التجهيزات المثبتة داخل علود الترشيح بما يمنع حدوث ذلك بالكشط السطحي والانتباه الكامل. عند الإنشاء لأول مرة يلزم الغسيل لعدة مرات حتى عشرة مرات حتى تكون مياه الغسيل خالية تماماً من رماد الفحم المنشط. استخدام مرشح الغشاء (Membrane filter) يفيد في إيقاف تسرب حبيبات الفحم المنشط مع مياه الغسيل. البعض يرى أن ترشيح مياه الصرف للغسيل لعدة دقائق بعد الغسيل يمنع تراكم رماد الفحم المنشط في شبكة للتوزيع ويقلل من مشاكل النمو البيولوجي. استخدام وحدات الامصاص المنفصلة بعد الترشيح يوفر المرونة في تداول حبيبات الفحم المنشط والتغير في ظروف الامصاص مثلاً، زمن الالتصاق، معدل التدفق العلوي مقابل التدفق لأسفل. وحدات الامصاص تصمم عادة بنسبة العمق إلى القطر لمادة الامصاص ١,٥ أو أكثر لتأكيد التوزيع الجيد للتدفق. يكون قاع التحمل من سطح مثقب أو من لوح من الصلب المقاوم ٣١٦، كما يمكن استخدام بلوكات السيراميك المثقب المغطاة بالزراط أو الرمل ولكن في هذه الحالة يكون من الصعوبة فصل الوسط في حالة الحاجة إلى تنشيط الفحم المنشط من آن إلى آخر.

### التنشيط : Reactivation

أثناء الاستخدام، يصبح السطح الكبير للداخلي لحبيبات الفحم المنشط مشبع بالمواد التي تم امتصاصها. عندئذ تسمى حبيبات الفحم المنشط أنها إستنفذت طاقتها في الامصاص مما يتطلب إما استبدالها أو تنشيطها. أما التخلص من المادة بالدفن في التربة فهو البديل الثالث ولكن من الناحية الاقتصادية يعتبر التنشيط هو الأفضل وذلك في حالة استنفاد قدرة الفحم المنشط على الامصاص خلال ٦ إلى ١٢ شهر.

التنشيط: هو عملية إزالة المواد العضوية التي تم امتصاصها واستعادة خاصية الامصاص للفحم المنشط ثانياً.

يمكن تنفيذ عملية للتنشيط كيميائيا أو حرارية. التنشيط للكيمياوي باستخدام مذيب يستخدم في بعض الصناعات ، ولكن استخدامه في مجال معالجة مياه الشرب محدود جدا. التنشيط الحراري يوفره مورنو حبيبات الفحم المنشط أو يتم في الموقع كالأتي :

- يتم الغسيل لحبيبات الفحم المشبع والتنظيف بالهواء.
- توضع حبيبات الفحم في فرن وتعرض إلى جو من البخار والأكسجين يتم التحكم فيه وعند درجة حرارة حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية. الغازات الخارجة يجب أن لا تسبب تلوث للهواء الجوي المحيط.
- يتم إطفاء حرارة الفحم المعاد تنشيطه بالماء ثم نقله هيدروليكيًا إلى الملامس (Contractor) أو إلى التخزين.
- يتم إضافة حبيبات فحم خام لتعويض الفقد.

تكوين مساحة النقل الهيدروليكي للفحم المنشط قصيرة بما أمكن مع تجنب الانحناءات كلما أمكن ذلك وتكون السرعة ما بين ١,٥ إلى ٣ متر في الثانية ويستخدم للتخزين أحواض من الصلب المقاوم (درجة ٣١٦) وكذلك في حالة الانحناءات. أما في حالة استقامة خط المواسير يمكن استخدام مواسير بي في سي أو أي نوع آخر بلاستيك. نظرا لاحتمال حدوث انسداد. زيادة نسبة الماء إلى الفحم تخفض الفقد بالاحتكاك.

### أنواع الأفران المستخدمة في التنشيط :

توجد أنواع كثيرة من الأفران المستخدمة لتنشيط وإعادة تنشيط حبيبات الفحم المستنفذ طاقته منها الفرن متعدد الغرف الحرارية (Multiple hearth) وهو الأكثر استخداما. حيث يوجد من ٤ — ٨ غرفة حرارية، مع حدوث التجفيف في الغرفة العليا. زراع التقلب تحرك حبيبات الفحم إلى الداخل والخارج في الغرفة. يسلط النجار عند قاع الفرن وتخرج الغازات خلال مرشح (Scrubber) أو إلى الحرق التالي بعد المرشح. كما توجد أنواع أخرى منها الفرن الدوار. كما يستخدم البخار فقط في إزالة المواد العضوية المكورة من الفحم المنشط كما في حالة الاستخدام

لانتاج المياه الغازية. يستخدم في هذه الحالة البخار بمعدل  $2,4 \text{ م}^3 / \text{م}^2$  / الساعة. ويتم التكثيف للأبخرة الصاعدة. هذه العملية تستغرق من ١٨ إلى ٢٤ ساعة.

مراقبة كفاءة التنشيط أو إعادة التنشيط:

الرقم اليودي والكثافة الظاهرة : Iodine number and Density

الرقم اليودي هو كمية ٠,٢ يود عياري بالمليجرام التي يحدث لها امتصاص بجرام واحد من الفحم المنشط عند التعادل. وكنموذج فإن جليبات الفحم المنشط ذات المساحة السطحية ١٠٠٠ متر مربع في الجرام لها رقم يودي يقسرب من ١٠٠٠ مليجرام / جرام من الفحم المنشط.

**بودرة الفحم المنشط : Powdered Activated Carbon** تصنع حبيبات الفحم المنشط من الفحم الليبثوميني أو اللجنين أو الخشب أو من قشور جوز الهند ومن البترول ومن قشور ولحاء الأشجار وتبلغ حجم الحبيبات من ٥ إلى ١٠٠ ميكرو متر وكثافتها ٠,٤٨ جرام / سم<sup>٣</sup>. بودرة الفحم المنشط مؤثرة جدا عند الحقن في أماكن متعددة ما بين المأخذ والمرشحات. في حالة استخدام الكلور لا يضاف الكلور وبودرة الفحم المنشط معاً، نظر للاختزال السريع للكلور بواسطة بودرة الفحم المنشط بما يمنع من أداء وظيفته كمطهر. وهذا لا يقلل من تأثير المطهر فقط بل كذلك يؤكسد مادة الفحم. يمكن تعيين جرعة بودرة الفحم المنشط المطلوبة باختبار القيلنة (jar test) كما في حالة تعيين جرعة المرب. ومن بين الملوثات العضوية التي يمكن أن تزال هو مركب التوكسافين والذي يتطلب جرعة ١٠ مليجرام / لتر. إضافة بودرة الفحم المنشط بالإضافة إلى ما يترتب عليه من تكاليف إضافية إلا أنها تشكل كذلك إضافة عند التخلص من الروبة (sludge).

الراتنجات المختلفة : Synthetic Resins :-

هناك أبحاث ودراسة على هذا النحو كاستخدام البلمرات من الأكسليك وأن كانت طاقتها في امتصاص الكربون العضوي الكلى محدودة. ولم تستخدم هذه الراتنجات في مجال مياه الشرب حتى الآن.

طرق أخرى لخفض وإزالة بقايا الملوثات العضوية :

فى هذه الطريقة يتم الاستخدام المزدوج للأوزون والفحم المنشط. فعند استخدام الأوزون مع الفحم المنشط أو استخدام الأوزون مع الترشيح ثم استخدام الفحم المنشط يمكن الحصول على مياه بمحتوى منخفض جداً من إجمالي الكربون العضوي وتكوينان الترايها لوميثان عن استخدام الأوزون فقط أو الفحم المنشط فقط. عند استخدام الأوزون بالجرعة المكافئة لا يحقق معالجة جيدة مشابهة. وذلك لأن الأوزون يعمل على تكسير المواد العضوية الغير قابلة للتحلل منتجا غذاء عضوى يساعد على تكاثر ونمو البكتريا والتي تنتشر فى الوسط الحبيبي بعد استخدام الأوزون. جرعة الأوزون ذات التأثير وجد أنها تتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٣ ملجرام / لتر لكل ملجرام / لتر من إجمالي الكربون العضوي (TOC). من الناحية الاقتصادية فإن استخدام الأوزون مع الفحم المنشط يكون أفضل وذلك عند إستغلال طاقة للفحم المنشط في ثلاثة أشهر أو أقل.

الغليان للماء : Boiling :-

فى حالة الطوارئ يمكن إزالة بعض من معظم المركبات العضوية المتطايرة من مياه الشرب بالغليان. يراعى عدم استنشاق البخار الصاعد من الغليان. والعمل على صرفه في الهواء. كما يلاحظ أن التبخير قد يعمل على تركيز بقايا الملوثات من المواد الغير عضوية المذابة بما يتطلب إن أمكن الغليان فى أوعية ضغط البخار. الجدول (٢٣) يوضح تأثير الغليان على بقايا المواد العضوية الموجودة في مياه الشرب :

جدول (٢٣)

| زمن الغليان بالدقيقة | متوسط نسبة المتبقي |    |     |     |
|----------------------|--------------------|----|-----|-----|
|                      | أ                  | ب  | ج   | د   |
| ٣                    | ٢                  | ١٤ | ٧   | -   |
| ٥                    | ١ >                | ٧  | ٣   | ١ > |
| ١٠                   | ١ >                | ١  | ١ > | ١ > |

- أ. نتراكلورو إيثيلين
- ب. ترايكلورو إيثيلين
- ج. كلوروفورم
- د. رابع كلوريد الكربون

كما أنه لا توجد طريقة واحدة لقياس المحتوي من المواد العضوية. فإنه كذلك لا توجد طريقة واحدة للتخلص من كل المواد العضوية. ولهذا يلزم المراقبة الجيدة والتحكم في وصول الملوثات إلى المياه العكرة بالإضافة إلى إتقان مراحل عمليات المعالجة لمياه الشرب.





الباب السادس

**تطهير المياه**



## الباب السادس

### تطهير المياه

#### Means of Water Disinfection

عملية تطهير المياه تصمم لقتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض بينما عمليات المعالجة الأخرى باستخدم مواد الترسيب والترشيح يمكن أن تقلل منها. المطهرات تشمل الكلور في صورته المختلفة وهي الغاز المسال المعبأ في اسطوانات ومسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم ومحلول هيبوكلوريت الصوديوم ومركبات الكلور من الكلورامين وثاني أكسيد الكلور. والهالوجينات الأخرى مثل الفلور واليود والمطهرات الأخرى تشمل الأوزون، والأشعة فوق البنفسجية برمنجنات البوتاسيوم كما تستخدم إمكانات أخرى مثل الرقم الهيدروجيني المتباعد عند حالة التعادل ( $\text{Extreme pH}$ ) وغليان الماء.



## القسم الأول

### الكلور

#### ١- خواص الكلور:

في الحالة الغازية الكلور عادة له لون أخضر - مصفر. ووزنه ٢,٥ مرة وزن الهواء. للأغراض التجارية يعبأ في اسطوانات في شكل سائل مضغوط لونه أحمر ووزنه ١,٥ ضعف وزن الماء. وعند تحرر الكلور السائل من الاسطوانة فإنه يتحول إلى الغاز حيث تنتج وحدة الحجم من الكلور السائل ٤٥٠ ضعف الحجم من غاز الكلور.

الكلور المحتجز في الاسطوانة يمكن أن يكون في شكل غاز أو سائل أو في كليهما. والاعتبارات الخاصة بسائل الكلور تشمل كذلك غاز الكلور. ولهذا فإن ضغط غاز الكلور داخل الاسطوانة هو دلالة لدرجة الحرارة وليس له علاقة بحجم المحتوى من الكلور، فنجد أن مقياس للضغط لأسطوانة الكلور بها واحد كيلو من الكلور هو نفسه مقياس للضغط لأسطوانة بها ١٠٠ كيلو من الكلور تحت نفس الظروف من درجات الحرارة. وعند زيادة درجة حرارة للكلور يزداد الضغط.

الكلور قليل الذوبان في الماء وتصل أقصى نسبة ذوبان الكلور ١% عند درجة حرارة ٥, ٩°م. وعند درجة حرارة أقل من ذلك فإن الكلور يتحد مع الماء ليكون مادة بلورية في شكل الثلج. ونظراً لأن ضغط غاز الكلور يزداد بارتفاع درجة الحرارة فإن ذوبان الكلور بالتالي يقل. فعند درجة حرارة ١٠, ١°م لا يذوب الكلور في الماء. وما بين ٥, ٩°م و ١٠, ١°م فإن الكلور المذاب في الماء يكون محلول

عدواني (Corrosive Mixture) من أحماض الهيبوكلورس والهيدروكلوريك والذي يسبب مشاكل عند تداوله.

#### أ - الخواص الكيميائية :

تحت ظروف معينة يتفاعل الكلور مع معظم المعادن وفي بعض الحالات يتم التفاعل بسرعة عالية. نظرا لشراسة الكلور العالية للهيدروجين فإنه يزيل الهيدروجين من بعض مركباته مثل حالة التفاعل مع كبريتيد الهيدروجين. ويتفاعل الكلور مع النشادر أو المركبات الأخرى المحتوية على النيتروجين ليكون مركبات مختلفة من الكلورامين. ويتفاعل كذلك مع المواد العضوية وفي بعض الحالات يتم ذلك مع حدوث انفجار.

الكلور ليس مشتعل أو مفرق مثل الأكسجين ولكن يمكنه تنشيط الاشتعال لمواد معينة ولذا يلزم تداوله وتخزينه بعيدا عن الغازات المضغوطة مثل الأمونيا (النشادر) وكذا المواد القابلة للاشتعال. معظم المعادن العادية لا تتأثر في درجات الحرارة العادية بالكلور الجاف سواء غاز أو سائل. للكلور يتفاعل مع الألومنيوم ويحرق الصلب الكربوني عند درجة حرارة أكبر من ٢٥٥°م. ويعتبر الكلور الرطب عدواني لكل المعادن العادية عدا للذهب، الفضة، البلاتين، التيتانيوم وبعض السبائك الخاصة.

#### ب - التأثير الفسيولوجي :

غاز الكلور هو غاز خائق ويمكن كشف وجوده في الهواء بالاستنشاق في حالة زيادة تركيزه عن ٣ جزء في المليون. كما يسبب الكلور التهابات بالجلد (خاصة في وجود رطوبة) والجهاز التنفسي وأغشية التنفس وذلك طبقا للتركيز وزمن التعرض وفي الحالات الشديدة يمكن أن تحدث الوفاة بسبب الاختناق . كما أن سائل الكلور يمكن أن يسبب احتراق العينين والجلد عند التصادق بهذه الأعضاء. عند وجود سائل الكلور في وعاء غير مغلق فإنه يتبخر بسرعة وينتج نفس التأثير كما في غاز الكلور. التركيز من ٤٠ - ٦٠ ملليجرام / لتر لمدة ٣٠ - ٦٠ دقيقة يعتبر خطير

جدا . والتركيز الأعلى من ذلك يمكن أن يشكل خطورة شديدة ولو في فترة زمنية وجيزة.

### ج- تفاعلات الكلور مع الماء :

عند إضافة الكلور إلى ماء نظيف كيميائيا فإنه يكون محلول من كلاً من حامض الهيبوكلورس وحامض الهيدروكلوريك.

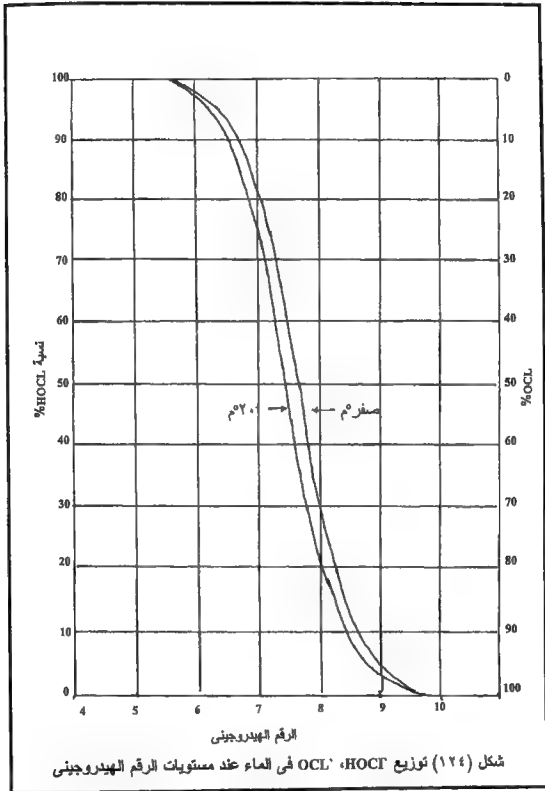


عند درجات الحرارة العادية للمياه فإن هذا التفاعل يتم في ثواني، و عند رقم هيدروجيني ٤ وفي المحلول المخفف فإن التفاعل يميل إلى جهة اليمين مع وجود قليل من الكلور في المحلول .

تتوقف قوة الأكسدة للكلور وقدرته على التطهير على تكون حامض الهيدروكلورس (HOCl). يتأين حامض الهيبوكلورس في تفاعل لحظي إلى الهيدروجين وأيون الهيبوكلوريت وهذا التفاعل كذلك عكسي وتتوقف درجة التأين على الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة.



حامض الهيبوكلورس هو حامض ضعيف ويتحلل عند رقم هيدروجيني اكبر من ٦. ولذا فإن الكلور يوجد غالباً كحامض هيبوكلورس عند رقم هيدروجيني منخفض نسبياً. عند رقم هيدروجيني ما بين ٦ - ٨,٥ يحدث تغير حاد من حامض الهيبوكلورس الغير متحلل إلى تحلل كامل للحامض. وتزداد نسبة أيون الهيبوكلوريت عند رقم هيدروجيني ٩,٥ فأكثر. الشكل (١٢٤)





الرقم الهيدروجيني لمياه الشرب المكلورة هو عادة في المجال حيث يكون الكلور في شكل حامض الهيوكلورس وأيون الهيوكلوريت وهذا ما يعرف بالكلور الحر المتاح (Free Available Chlorine). أيون الهيوكلوريت ( $\text{OCl}^-$ ) ينتج كذلك عند تأين المركبات المحتوية على الكلور مثل هيوكلوريت الكالسيوم ( $70\%$  كلور)  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  وهيوكلوريت الصوديوم  $\text{NaOCl}$  في حالة وجودهما في الماء.



ويحقق أيون الهيوكلوريت توازن مع الهيدروجين طبقاً للرقم الهيدروجيني كما في المعادلة



لذا فإن نفس حالة الاتزان (Equilibrium) تتوفر في المياه سواء استخدم الكلور أو مركبات الهيوكلوريت، يميل الكلور إلى خفض الرقم الهيدروجيني وتميل مركبات الهيوكلوريت لزيادتها. من المعادلة الآتية فإن حامض الهيوكلورس الناتج وكذا أيون الهيدروجين يعملان على خفض الرقم الهيدروجيني ومن ثم خفض القلوية وزيادة الحموضة. كل جزئ من الكلور يتعادل مع  $0.7$  جزئ من القلوية مقيماً ككربونات كالسيوم وقد تصل درجة التعادل إلى  $1.4$  طبقاً لدرجة التأين لحامض الهيوكلورس وطبيعة استهلاك الكلور بالمواد الموجودة في الماء. والعسر الموجود في الماء من أملاح كربونات أو بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم يقوم بالتعادل مع التغير في الرقم الهيدروجيني للمياه بما يمنع حدوث إضافة قليلة من الحموضة أو القلوية للمياه. وعند إضافة كميات كافية من الكلور لخفض القلوية الطبيعية عندئذ يتم تصحيح القلوية الطبيعية بمعالجة ثانوية. أملاح الهيوكلوريت تحتوى عادة على زيادة في القلوية وتميل إلى رفع الرقم الهيدروجيني.



## ٢- مركبات الكلور :

## أ- الهيبوكلوريت : Hypochlorites

وهي أملاح حامض الهيبوكلورس (HOCL) ويمكن ان تكون جافة أو سائلة طبقاً لتوفرها تجارياً. محلول الهيبوكلوريت يحتوى على زيادة فى القلوى الذى يزيد من الرقم الهيدروجينى وبالتالي يؤثر على نسبة كلا من حامض الهيبوكلورس وأيون الهيبوكلوريت. تستخدم مركبات الهيبوكلوريت فى الحالات الحرجة وفى عمليات تطهير المياه الميدانية وفى العمليات الصغيرة.

\* هيبوكلوريت الكالسيوم المستخدم فى تطهير مياه الشرب يختلف كثيراً عن المادة التى استخدمت لسنوات طويلة كمسحوق لتبيض قماش الدمور. وهو كلوريد الجير أو الجير المطفى المكلور والذى يتكون من مركبات غير مستقرة معظمها من اكسيكلوريد الكالسيوم ( $Ca(OCl)_2$ ). ولكن الهيبوكلوريت الذى نعينه هو هيبوكلوريت الكالسيوم عالى الجودة يحتوى على ٦٥-٧٠% كلور وذو لون أبيض وغير شره لامتصاص الماء وهو عبارة عن حبيبات ذات رائحة كلور قوية أو فى شكل بودرة أو أقراص ويذوب سريعاً فى الماء.

\* هيبوكلوريت الصوديوم يوجد عادة فى الشكل السائل والمحلول يكون بتركز ما بين ٥ - ١٥% عادة وهو محلول صافى يميل إلى اللون الأصفر شديد القلوية عدواني وله رائحة كلور شديدة.

\* ثبات مركبات الهيبوكلوريت (Hypochlorites): الهيبوكلوريتات عالية الجودة ذات قوة أكسدة ونشطة. عند التخزين فى درجة حرارة ٣٠°م لمدة عام يقل المحتوى من الكلور بنسبة ١٠%. التخزين فى الأماكن الباردة يقلل من التلف والتحلل. معظم محاليل الهيبوكلوريت أقل ثباتاً من مساحيق الهيبوكلوريت. وأقصى عمر للتخزين قبل الاستعمال هو ٦٠ - ٩٠ يوم. الضوء والحرارة تعجلان من تحلل محلول الهيبوكلوريت ويقل التحلل عند التخزين فى أماكن جافة رطبة مظلمة أو فى أنية معزولة عن الضوء.

## ب - ثاني أكسيد الكلور ( CLO 2 - Chlorine Dioxide ) :

ثاني أكسيد الكلور لم يستخدم في تطهير مياه الشرب رغم أنه شديد المفعول في القضاء على الكائنات الحية الدقيقة جميعها مثل حامض الهيبيكلورس. ولا يتأثر بالرغم الهيدروجيني في المجالات العادية من ٦ - ٩ وكذلك لا يتأثر بوجود النشادر. يمكن إنتاجه واستخدامه فوراً كما يمكن قياسه بسهولة وهو مستقر إلى حد ما. في معظم الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور متفوق على الكلور في حالة إحكام استخدامه. ولكن تظهر ضرورة إنتاج ثاني أكسيد الكلور في الموقع في شكل محلول ثاني أكسيد الكلور. ويصنع هذا المحلول من محلول هيبوكلوريت الصوديوم والكلور. وهذا يعني بالنسبة للجرعات المتساوية من كل من الكلور وثاني أكسيد الكلور يصبح الأخير مكلف جداً.



ولكن تظهر أهمية ثاني أكسيد الكلور في التطهير في حالة وجود نيتروجين الأمونيا مع كميات من مركبات الفينول حيث أن إنتاج المياه عالية النقاوة بالكلور فقط يعتبر أمراً صعباً.

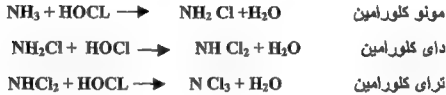
رغم أن ثاني أكسيد الكلور يستخدم عادة منفرداً فإنه قد يستخدم مع أو يسبق أو يلي الكلور. ففي حالة استخدامه لتدمير الكلوروفينول فإنه يستخدم مع الكلور في عمليات الكلورة المسبقة. وفي حالة استخدامه لأكسدة الحديد والمنجنيز فإنه يستخدم قبل الترويب والترسيب والترشيح يلي ذلك استخدام الكلور لأغراض التطهير في الشبكة.

## ج- تفاعلات الكلور مع الأمونيا :

تفاعلات الكلور مع المواد النيتروجينية الغير عضوية مثل الأمونيا (النشادر) له أثر كبير في عمليات الكلورة عند التطهير فعند إضافة الكلور إلى الماء الذي يحتوي أو مضاف إليه أمونيا. أيون الأمونيا يوجد في حالة إيزان بين الأمونيا (النشادر) وأيون الهيدروجين.



تتفاعل الأمونيا مع حامض الهيپوكلورس لتكون مجموعة من مركبات الكلورامين والتي هي مثل حامض الهيپوكلورس تبطئ عملية الأكسدة للكلور. ويمكن توضيح التفاعل ما بين الكلور والأمونيا كالآتي: حيث يتكون كلاً من مونو، داي وثرأي كلورامين.



وتتوقف نواتج التفاعل علي درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني والوقت والنسبة بين كلاً من الكلور إلى الأمونيا ( $\text{Cl}_2:\text{N H}_3$ ) انخفاض درجة الحرارة وزيادة نسبة الكلور إلى الأمونيا وانخفاض الرقم الهيدروجيني يساعد في تكوين الداي كلورامين.

ويوضح الشكل (١٢٥) بنسبة الكميات بالوزن من المونو كلورامين والداي كلورامين التي تتكون عند الحالات المختلفة للرقم الهيدروجيني وذلك عند نسبة الكلور إلى الأمونيا ١ : ٥ ( $\text{Cl}_2 : \text{NH}_3$ ).

ويتفاعل الكلور كذلك مع المواد النيتروجينية العضوية لتتكون مركبات كلورامين العضوي. الكلور الموجود في الماء والمتحد مع نيتروجين الأمونيا أو النيتروجين العضوي يسمى الكلور الحر المتحد (Free Combined Chbrine). قوة الأكسدة لمحاليل الكلور تتغير طبقاً للرقم الهيدروجيني نظراً للتغير في نسبة  $\text{HOCL}$   $\text{OCL}^-$  والتي تقل عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني حيث تزداد نسبة أيون  $(\text{OCL})^-$ . الكلورامين اقل قدرة في النشاط والتطهير عن الكلور الحر.

## د- تفاعلات الكلور الأخرى :

التفاعل بين كبريتيد الهيدروجين والكلور يتم عموماً بسرعة مثل التفاعل الذي يحدث بين الكلور والمواد المختزلة الأخرى



أيون الكلور المختزل ( $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ) لا يحقق قدرة الأكسدة للكلور. من الناحية النظرية فإن جزيء واحد من كبريتيد الهيدروجين يحتاج إلى ٨, ٥ جزء من الكلور وعند حدوث هذا التفاعل يحدث بجانبه استهلاك لعشرة أجزاء من عسر الكالسيوم ( $\text{AsCa CO}_3$ ) عند رقم هيدروجيني ٩. كما أن التفاعل مع الحديد والمنجنيز يؤثر كذلك على عملية الكلورة، فعند زيارة الرقم الهيدروجيني في وجود الكلور تتأكسد مركبات الحديد والمنجنيز (Manganous) التثاني بسرعة إلى الأيدروكسيد الغير مذاب في الماء ولا يتدخل الكلورامين في تفاعلات الأكسدة. الكلور الحر المتاح وليس للكلور المتحد مطلوب لإزالة الحديد المذاب عند رقم هيدروجيني ٧ أو أكثر والمنجنيز المذاب عند رقم هيدروجيني ١٠ حيث يلزم للحديد ٠, ٦ جزء وللمنجنيز ١, ٣ جزء من الكلور لكل جزء من الحديد والمنجنيز المطلوب إزالته وكذلك يستهلك ٣, ٤ أجزاء من الكلور لأكسدة عسر الكالسيوم (مقيم ككربونات كالسيوم).

ويوجد النيتريت في بعض المياه وخاصة الملوثة بمياه الصرف الصحي وبعض مياه الصرف الصناعي. للنيتريت يتأكسد بسرعة بالكلور وخاصة الكلور الحر حيث يستهلك كل جزيء من النيتريت ١, ٥ جزء من الكلور. وقد توجد بعض المواد العضوية المختزلة في بعض مياه الشرب ولكن تركيزها عادة منخفض. وطبقاً لتركيز الكلور المتوفر وزمن التفاعل فإن بعض المواد العضوية المذابة تتفاعل مع الكلور وإن كان الزمن اللازم لإتمام التفاعل مع المواد العضوية المذابة عدة ساعات إلا أن بعض المواد العضوية المذابة تتفاعل بسرعة مع الكلور. وفي بعض الظروف تتكون مركبات جديدة نتيجة إضافة أو استبدال الكلور. وفي بعض الحالات الأخرى تتأكسد المركبات العضوية تماماً. المركبات العضوية مع الكلور

---

الياب للملح: تطهير المياه  
لها قدرة ضعيفة في القضاء علي البكتريا كما ان لها علاقة بعملية الكلورة  
لاستهلاكها للكلور وكذا لانتاج الطعم والرائحة.

### ٣ - الأثر البيولوجي والكيمائي للكلور في الماء :

#### أ - أثر السمية :

يقضي علي بكتريا الكوليفورم والبكتريا المسببة للأمراض والكائنات الحية  
الدقيقة كما يحد من أضرار البكتريا، يقلل من أثر الطعم والرائحة.

#### ب - الأثر الكيمائي :

الأكسدة : يؤكسد الحديد والمنجنيز والنترات ومركبات الكبريت الي الكبريتات.  
يتحد مع الأمونيا ويكون الكلورامين ومع النيتروجين العضوي ويكون الكلورامين  
العضوي ومركبات الكلور ومركبات استبدال الكلور.

### ٤ - عمليات الكلورة : (Chlorination Practices)

كانت عمليات الكلورة تتم بغرض التطهير وأدخلت عملية المعالجة بالكلور  
الأمونيا وذلك للحد من المذاق والرائحة المصاحبة عادة لعملية التطهير بالكلور.  
وتلا ذلك زيادة الكلورة (Superchlorination) لغرض آخر وهو تدمير وتحلل المواد  
المنتجة للرائحة والطعم المصاحبة عادة للمواد العضوية المحتوية علي الكلور ثم  
كانت معرفة نقطة الانكسار للكلورة (Break Point) ومعرفة أن الكلور المتبقي  
يمكن أن يكون في صورتين مع عملية الكلورة وهما الكلور الحر المتبقي او الكلور  
المتحد المتبقي.

#### أ - الكلور الحر المتبقي : Free Residual Chlorine

عملية إنتاج الكلور الحر المتبقي تشمل حقن الماء بالكلور لإنتاج كلور حر  
متبقي إما مباشرة أو من خلال تحلل وتكسير الأمونيا الموجودة طبيعيا في المياه

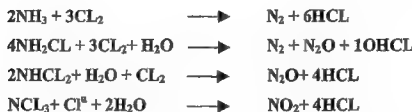
(حتى لا تتحد الأمونيا مع الكلور مكونة كلور متحد متبقي من الكلورامين) مع استمرار هذا الكلور الحر المتبقي خلال مرحلة أو كل نظام المعالجة المياه. الكلور الحر المتبقي له قدرة أكسدة أكثر من المتحد. ولذا فعند الرغبة في إنتاج كلور حر غير متحد فإن خصائص المياه هي التي تحدد أسلوب للتفويض.

\* في حالة عدم احتواء المياه علي امونيا (أو مركبات نيتروجينية أخرى) فإن استخدام الكلور سينتج عنه توفر للكلور الحر المتبقي.

\* في حالة وجود الأمونيا في المياه والتي ينتج عنها كلور متحد متبقي (كلورامين) فإنه يلزم تدميره بواسطة الكلورة الزائدة.

### ب - نقطة الانكسار للكلورة : (Break Point Chlorination) شكل (١٢٦)

التركيز الجزئ  $\text{NH}_3 : \text{CL}_2$  (كنتروجين) حتى ١ : ١ يكون مولو كلورامين ودايكلورامين. الكلورامين المتبقي يبلغ أقصاه عند تساوى التركيز الجزئى لكل من الكلور والامونيا. أى زيادة فى تركيز الكلور عن الامونيا ينتج عنها أكسدة للأمونيا واختزال للكلور. تفاعل الأكسدة والاختزال يكتمل عند إضافة ٢ جزئ من الكلور لكل جزئ من الامونيا مع توفر الزمن اللازم للمكث. عندئذ يقل الكلورامين المتبقي الى اقل قيمة "نقطة الانكسار" عندما تكون نسبة الكلور الى الامونيا ١:٢ حيث تفاعل الأكسدة - الاختزال. إضافة كلور زائد ينتج عنه كلور حر متبقي. ولذلك فإن الكلورامين المتكون بإضافة الكلور الى الماء المحتوى على امونيا يظل كما هو طالما أن نسبة الامونيا عالية، ولكن يبدأ الكلورامين فى التحلل والتكسير عندما تزيد نسبة الكلور وقبل نقطة الانكسار فإن حامض الهيبوكلوروس ( $\text{HOCl}$ ) الغير متفاعل يظل فى المحلول. المعادلات التالية تعطى تصور للتفاعلات التي قد تحدث لتحلل الكلور.



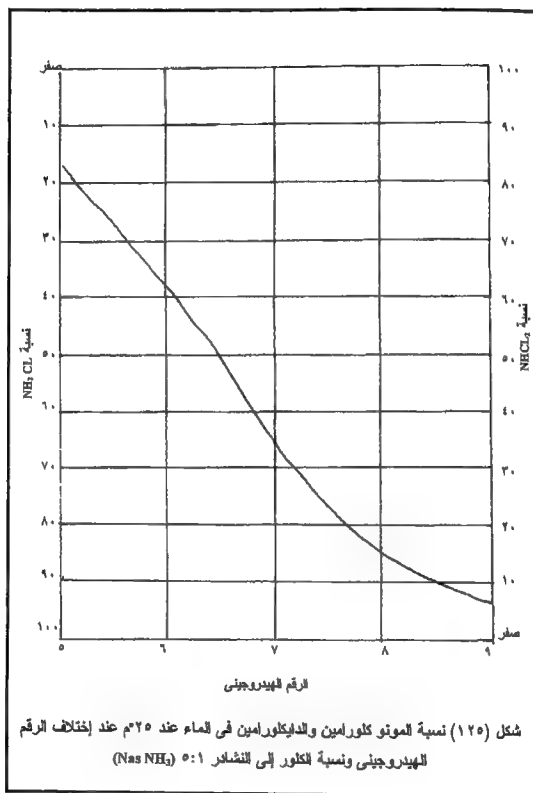
وهذه المعادلات توضح جرعة الكلور اللازمة للحصول على كلور حر متبقى.  
الجدول التالي يوضح الجرعة النظرية من الكلور - الأمونيا لحدوث التفاعل.

### جرعة الكلور اللازمة لتفاعلات الكلور - الأمونيا

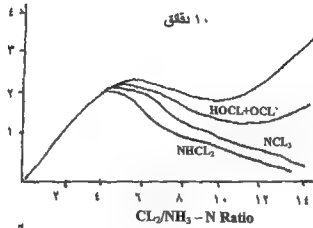
| التفاعل  | ملجرام كلور /<br>ملجرام أمونيا | التفاعل        | ملجرام كلور /ملجرام / أمونيا |
|--|--------------------------------|----------------|------------------------------|
| مونو كلورامين $NH_2Cl$   | ٤,٢                            | نيتروجين $N_2$ | ٦,٣                          |
| دايكلورامين $NHCl_2$   | ٨,٤                            | نترات $NO_3$   | ١٦,٧                         |
| تراي كلورامين $NCl_3$  | ١٢,٥                           | وليتريت        |                              |
| الجرعة التصميمية للحصول على كلور حر متبقى ٩ ملجرام كلور /ملجرام أمونيا |                                |                |                              |

يلاحظ أن كم كبير من الكلور لازم لإنتاج النترات وأقل منه قليلا لازم لتكوين الكلورامين. ولكن نسبة الكلور الي الأمونيا بالوزن لتكوين النيتروجين أقل من اللازم لتحويل كل الأمونيا إلى الدايلكلورامين. وقد ثبت أن النيتروجين هو الناتج الرئيسي عند تفاعل المتبقى الحر. ولكن الخبرة العملية تتطلب ٨ ملجرام كلور / ملجرام نشادر ولكن الجرعة ٩ - ١٠ ملجرام كلور / ملجرام نشادر مطلوبة لأغراض التصميم. ومن الناحية العملية فإن تركيز التراكلورامين يزداد بسرعة مع زيادة جرعة الكلور عن أقصاها ولذا فإن الزيادة في جرعات الكلور يلزم تجنبها وهذا مبين في الشكل (١٢٦). وعمليا نظرا لوجود المواد العضوية والمواد الأخرى النشطة مع الكلور قد يتطلب حتى ٢٥ من الكلور ضعف نيتروجين الأمونيا للوصول إلى هذه النقطة. بعد عملية الكلورة والحصول على الكلور المتبقى السدى يلي نقطة الانكسار فإن الكلور المتبقى الناتج يتكون من ٩٠% كلور متبقى حر وبنسبة قليلة من الكلور المتبقى المتحد. شكل (١٢٧)

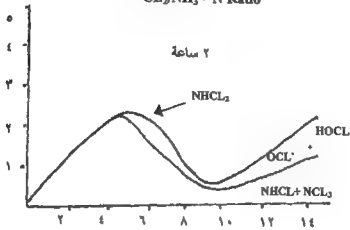




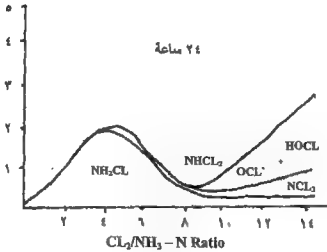
الكلور المتبقى ملجم/لتر



الكلور المتبقى ملجم/لتر



الكلور المتبقى ملجم/لتر



شكل (١٢٦) منحنيات الكلور الحر المتبقى

استخدام الكلورة المتبقية الحرة أو كلورة نقطة الانكسار مناسب في الحالات الآتية:

\* عندما تكون نوعية المياه رديئة مع ملاحظة عدم القدرة على إيقاف نشاط الفيروسات والضارة.

\* لأكسدة الحديد والمنجنيز.

\* عندما يكون زمن المكث غير كافٍ لتحقيق التطهير لتوفير التطهير بالكلور المتحد العادي.

\* عندما يكون هناك مذاق غير مقبول للمياه وكذا الرائحة الغير مقبولة.

\* للحد من نمو الطحالب على المرشحات وإطالة دورات الترشيح.

\* للقضاء على البكتيريا المقاومة للكلور وكذا نمو البكتيريا في شبكة التوزيع.

#### د- الكلور المتحد المتبقى : (Combined Residual Chlorine)

عملية الكلور المتحد المتبقى هو كلورة المياه مع الأمونيا الطبيعية سواء كانت موجودة أصلا في الماء أو مضافة للحصول على الكلور المتحد المتبقى واستمراره خلال وحدة المعالجة أو شبكة للتوزيع. الكلور المتحد المتبقى له قدرة أكسدة أقل من الكلور الحر المتبقى وكذا أقل قدرة في عملية التطهير وقتل الكائنات الحية الدقيقة. حيث أن ما يعادل ٢٥ ضعف من الكلور المتحد المتبقى للحصول على نفس النتيجة تحت الظروف المتساوية من الحرارة والرقم الهيدروجيني وزمن المكث مقارنة بالكلور الحر.

خصائص المياه هي التي تحدد الحصول على كلور متحد متبقى وذلك في الحالات الآتية:

\* إذا احتوى الماء على الأمونيا الكافية لإنتاج الكلور المتحد المتبقى بالقدر المطلوب فإن إضافة الكلور فقط تكفى.

\* في حالة احتواء المياه على أمونيا قليلة جدا أو عدم وجود أمونيا بالمياه فإن إضافة الأمونيا والكلور قد تكون مطلوبة في حالات خاصة.

\* في حالة احتواء الماء على كلور حر متبقى فإن إضافة الأمونيا سوف تحول الكلور الحر المتبقى إلى كلور متحد متبقى.

عملية الكلورة التي تحقق كلور متبقى متحد تتم بعد الترشيع للقضاء على الطحالب والبكتريا بعد نموها وتقلل من المياه الحمراء في النهايات الميتة لشبكات المياه كما أنها توفر الكلور المتبقى خلال الشبكة حتى صنبور المستهلك. عادة الكلورة لإنتاج الكلور الحر تسبق الكلورة لإنتاج الكلور المتحد (التي تتم بعد الترشيع) وذلك للحصول على مذاق جيد للمياه إلا في حالة توفير زمن مكث أكبر.

## ٥ - التطهير البيولوجي: Biological Control

يبنى التطهير بالكلور على أساس الحصول على كمية محددة وذات نوعية خاصة من الكلور المتبقى بعد تمام المعالجة لتأكيد صلاحية المياه للشرب.

المياه المحملة بالميكروبات هي المتعلقة بميكروبات حمى التيفود والدوسنتاريا والإضرابات المعوية المختلفة والبكتريا الخاصة بهذه الأمراض هي من نوع السلمونيلا والشيغيلا. ويمكن تحديد فعالية التطهير باختبار وجود كائنات الكوليفورم. وذلك حيث أن بكتريا حمى التيفود وغيرها هي على الأقل لها مقاومة مثل الكوليفورم وأن عدوانيتها تتمثل في المياه الحاملة لبكتريا السلمونيلا والشيغيلا. من المعلوم أن الفيروسات المعوية تختلف في حساسيتها ومقاومتها للكلور وكذلك فإن الفيروسات أكثر مقاومة للكلور من الكوليفورم والبكتريا المعوية الأخرى.

### أ- الجرعات من المطهر اللازمة للتطهير :

أقل كمية من الكلور المتبقى عند درجات حرارة ٢٠-٢٥°م باستخدام زمن مكث ١٠ ق مع التعرض للكلور الحر المتبقى عند رقم هيدروجيني ٦-٨ هي كلور حر متبقى لا يقل عن ٠,٢ ملليجرام /لتر وعند رقم هيدروجيني ٨-٩ لا يقل عن ٠,٤ ملليجرام /لتر. وفي حالة للكلور المتحد المتبقى وزمن مكث ٦٠ ق وعند رقم هيدروجيني ٧-٨ لا يقل الكلور المتحد المتبقى عن ١,٥ ملليجرام /لتر وعند رقم هيدروجيني ٨-٩ لا يقل عن ١,٨ ملليجرام /لتر. وهذه القيم لا تتناسب جميع أنواع المياه وخاصة المياه العكرة وعند درجة حرارة أقل من ٢٠°م.

وبالنسبة لإبادة الحويصلات (الجارديا) وهى جرعة تقتل كل البكتريا وهى مالا يقل عن ٠,٥ ملليجرام / لتر للكلور الحر المتبقى، ٢,٥ ملليجرام / لتر للكلور المتحد المتبقى مع زمن مكث ٣٠ دقيقة ودرجة حرارة ٢٢-٢٥°م. لإزالة الفيروسات نتيجة التلوث بمياه الصرف أو المخلفات الأدمية فإن التطهير المناسب هو بتعقيم المياه (غلي المياه عند درجة حرارة ١٠٠°م). ولا يقف نشاط الفيروسات فإن حامض الهيوكلورس (HOCl) يعتبر للمؤثر فى إيقاف نشاطها حيث يلزم ٠,٥ ملليجرام /لتر من الهيوكلورس مع زمن مكث ٣٠ق. ولذلك فإنه فى حالة تلوث المياه بالفيروسات يلزم توفر كلور حر متبقى فى مجال رقم هيدروجينى مناسب لإنتاج حامض الهيوكلورس. ونظرا لأن مثل هذه المياه بها نيتروجين أمونيا بكميات كبيرة فإنه يلزم توضيح نقطة الانكسار للكلور (حيث حامض الهيوكلورس السدى يتكون أثناء عملية نقطة الانكسار وكذلك الذى يتكون بعد اكتمال تفاعلات الانكسار يكون مناسب لإيقاف نشاط الفيروسات). المياه المحتوية على نيتروجين الأمونيا من ٠,١ إلى ١ ملليجرام /لتر فإن أفضل رقم هيدروجينى للكلور الحر المتبقى لإنتاج مياه خالية من الفيروسات هو ٧,٥ فى هذا المجال ستوجد نسبة كبيرة من حلمض للهيوكلورس مع عدم احتمال تكون ثلاثى كلوريد النيتروجين عنه فى المياه الأشد حموضة.

## ب- أماكن ونقاط استخدام الكلور :

### (١)- الكلورة المسبقة : Prechlorination :

وهى استعمال الكلور قبل أى عملية معالجة، وهى تحقق زيادة كفاءة الترشيح للمياه بتقليل حمل البكتريا والطحالب والفطريات وتحسن عملية الترويب وتقليل آثار المذاق والرائحة والمواد المسببة للألوان بأكسنتها وتوفير عوامل الأمان لتطهير المياه شديدة التلوث مع الاحتفاظ بالكلور المتبقى فى شبكة التوزيع أقل ما يمكن. وعند استعمال الكلورة المسبقة فإنه يمكن الحصول على زمن مكث أطول ما يمكن وذلك يحقن الكلور فى مأخذ السحب للمياه العكرة لتوفير الالتصاق الجيد بين الكلور والماء خلال مراحل الترويق للمياه. وطبيعى فإن الجرعة تتوقف على الهدف. ففى

بعض الحالات يلزم توفير الكلور الحر المتبقي وفي حالات أخرى يكفي بالكلور المتحد المتبقي مع الاهتمام بتوفير الكلور المتبقي الضروري لتحقيق الهدف.

#### (٢) - الكلورة التالية : (PostChlorination)

وهي كلوره المياه بعد أي عملية من عمليات المعالجة وأهم عمليات الكلورة التالية هي التي تلي عملية الترشيح بغرض التطهير للحصول على كلور حر متبقي أو كلور متحد متبقي في كل شبكة للتوزيع. ويؤخذ في الاعتبار زمن المكث حيث يضاف للكلور للمياه الخارجة من المرشح (زمن المكث في الخزانات العلوية أو الأرضية بعد المرشح). وعندما تلي الكلورة التالية الكلورة الأولية وتسبق عملية الترشيح يتم للحصول على كفاءة ترشيح عالية.

#### (٣) - إعادة الكلورة : (Rechlorination)

وهي حقن الكلور في الماء بعد معالجة المياه ويتم ذلك في نقطة أو أكثر في شبكة التوزيع حيث يتكون كلور حر متبقي أو كلور متحد متبقي. ويتم ذلك عادة عندما تكون شبكة التوزيع طويلة جدا ومعقدة وعندما يكون الكلور المتبقي من محطة المعالجة غير كافٍ للقضاء على البكتيريا والطحالب التي تنمو... الخ. يمكن حقن الكلور في نهاية خط التغذية الرئيسي الطويل في شبكة التوزيع. وفي منطقة التوزيع ومن الخط الرئيسي التي تجمع سكني بعيد أو في بعض الأماكن كالخزانات والمواسير الرئيسية أو محطات الضخ.

#### (٤) - إزالة الكلورة : (Dechlorination)

إن المحافظة على كمية ثابتة من الكلور الحر المتبقي أو الكلور المتحد المتبقي تعمل فقط كدليل عملي لتطهير المياه ولا يمكن استبدالها بالتحاليل البيولوجية أو التحاليل الميكروميكروبية. حيث إن تأكيد خلو المياه من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض سيظل الوسيلة الوحيدة لتحقيق صلاحية المياه للشرب. وعند استخدام الكلور الحر أو المتحد المتبقي مع استمرار التطهير. إلا أنه في بعض الحالات يكون المتبقي غير مرغوب فيه مما يتطلب إزالته. في حالة زيادته وخاصة في

حالة زمن المكث قليل (بين الماء والكلور) جدا. حيث تجرى الكلورة المسبقة في وحدة المعالجة أو الكلورة البسيطة في خط المواسير تليها إزالة الكلور مع أهمية وجود كلور حر متبقي ٠,١ ملليجرام / لتر في صنبور آخر مستهلك في الشبكة. يعتبر استخدام ثاني أكسيد الكبريت مناسب واقتصادي. أساس عمل مواد الأختزال أو مزيلات الكلور (Dechlor) هو إمكان استخدامها بعد الكلورة البسيطة كما يستخدم سلفيت الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) وإن كان ثاني أكسيد الكبريت أكثر ثباتا وأقل في التكلفة. ويستخدم ثيوسلفيت الصوديوم لإزالة الكلور عند عمل التحليل البكتريولوجية ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) للمياه، كما يستخدم كذلك في معالجة المياه للأغراض الصناعية. وقد يستخدم الفحم المنشط.

جدول (١٤) للكموايات المستخدمة لإزالة الكلور

| المادة  | جزء مطلوب لإزالة جزء من الكلور | القلوية المستهلكة ككربونات كالسيوم |
|---|--------------------------------|------------------------------------|
| ثاني أكسيد الكبريت $\text{SO}_2$                        | ٠,٩                            | ٢,٨                                |
| سلفيت الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )             | ١,٤٦                           | ١,٣٨                               |
| ثيوسلفيت الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) | ١,٧٧                           | ١,٣٨                               |
| الفحم المنشط  | ٠,٠٨٥                          | ٢,١                                |



تخزين المياه المحتوية علي الكلور لفترة طويلة في وجود أشعة الشمس يعمل علي الاختفاء التدريجي للكلور المتبقي.

## ٦- اعتبارات هندسية :

بالإضافة إلى الاعتبارات الكيماوية الخاصة بكفاءة التطهير. فإن الاعتبارات الهندسية لها أهميتها. حيث يلزم الخلط السريع والجيد للكلور مع الماء الجاري تطهيره بما يمكن من قتل حوالي ٩٠% من الكائنات الدقيقة في وقت قصير جدا قبل أن يتمكن الكلور المضاف من التفاعل مع المواد النيتروجينية الموجودة. وذلك لأن الخلط الغير جيد يساعد علي تكوين الكلورامين في بعض أجزاء من المياه قبل الالتصاق بالكائنات الدقيقة في أجزاء أخرى. ولهذا يمكن رفع كفاءة التطهير بوحداث الخلط السريع جدا. كما أن تصميم خزانات المكث للكلور مع الماء هام جدا وذلك من ناحية شكل الخزان والعوائق (Baffles) المناسبة يعتبر حساس وهام.





## ٧- كلورة شبكة التوزيع :

### أ- الإنشاءات الجديدة :

يلزم الحرص في تطهير شبكة للتوزيع المنشأة والجاري إنشائها فمن بين مصادر التلوث التسرب لمياه الصرف وكذا التربة الملوثة في خنادق الحفر والتلوث بفعل عمال الإنشاءات أو من معدات الإنشاء وكذا التلوث من المواد الغريبة في الخندق أثناء الإنشاء. ولذلك يكون من المهام الأساسية لعمال الإنشاءات تجنب التلوث للمهمات أثناء العمل حيث يلزم وضع المواسير على أماكن مرتفعة قبل التركيب، كما يجب سحب المياه من الخندق قبل تركيب المواسير مع الاهتمام بتغطية فتحات المواسير لمنع دخول المياه. كما يجب فحص كل ماسورة، محبس، ووصلة وتنظيفها قبل التركيب.

بعد اختبار الضغط للشبكة يتم ضخ المياه فيها بمرعة مناسبة لإزالة كل المواد الغريبة. وعند اكتمال هذه العملية يمكن إجراء للتطهير باستخدام الكلور السائل أو هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم بأحد الطرق الآتية:

### ب- التغذية المستمرة :

في هذه الطريقة يتم التغذية بالمياه المعالجة والكلور (سائل الكلور أو محلول الهيبوكلوريت) بمعدل ثابت وبتركيز لا يقل عن ٥٠ ملليجرام / لتر من الكلور حتي امتلاء المصدر. تظل المياه لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة حيث خلال هذه الفترة يلزم تشغيل المحابس ومحابس التصريف... إلخ حتى يمكن تطهيرها. وبعد انقضاء ٢٤ ساعة فإنه يجب ألا يقل الكلور المتبقي عن ٢٥ ملليجرام / لتر في المصدر الجديد. شكل (١٢٨)

### ج- الطريقة البطيئة :

وفي هذه الطريقة تجري التغذية المستمرة بجرعة ثابتة كما في الحالة الثابتة وبالمعدل الذي يعطي جرعة كلور لا تقل عن ٣٠٠ ملليجرام / لتر. مع استمرار

التغذية بالكلور لمدة زمنية تسمح بتلامس المياه المكلورة السي الأسطح الداخلية للمصدر لمدة لا تقل عن ٣ ساعات. مع مرور المياه المكلورة خلال المحابس والقطع والتقاطعات... الخ كما يجب تشغيل المحابس لضمان التطهير. وتستخدم هذه الطريقة للأقطار الكبيرة حيث التغذية المستمرة تكون غير عملية.

#### د- طريقة الأقراص : (Tablet Method)

لا يستخدم الغمر في هذه الطريقة رغم أنها تستخدم عادة في المواسير ذات الأقطار الصغيرة. في هذه الطريقة توضح حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم في أجزاء من الماسورة والمحابس والقطع. ثم يتم الملئ البطيء بالماء بسرعة في حدود ٣٠ سم / الثانية وذلك لعدم كسح الهيبوكلوريت الي نهاية المصدر. المحلول الأخير يجب ان يحتوي علي كلور متبقي لا يقل عن ٥٠ مليجرام / لتر وان يظل زمن المكث لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة. وبطرف النظر عن الطريقة المستخدمة. بعد زمن المكث يتم صرف المياه التي بها الكلور متبقي مع عمل الاختبارات البكتريولوجية وفي حالة عدم مطابقة التحليل للمواصفات يتم إعادة خطة التطهير مع اختبار النتائج قبل وضع مصدر المياه في الخدمة.

#### هـ- التطهير لعمليات الإصلاح :

أعمال التلف في الشبكات يمثل أكبر المشاكل المسببة للتلوث، حيث ينتج التلوث في منطقة التلغيات بالإضافة إلى ان الإسراع للضروري لعملية الإصلاح يزيد من التلوث. لذلك مع تتبع التلف وتحديد الكسر المعرض للتلوث يلزم العمل علي عزل مياه الصرف وأي مصادر تلوث أخرى. في حالة توفر الوقت يستمر ضخ المياه في الخط وسحب المياه وضخها من الخندق. وهذه الطريقة سوف تزيل كثيرا من الملوثات التي اندفعت الي المواسير. واقل قدرة من التطهير تشمل غسيل الماسورة الجديدة والوصلات بمحلول الهيبوكلوريت ٥% قبل التركيب وعندما تسمح الظروف يتم عزل منطقة التلغيات التي تم إصلاحها مع تعرضها للتطهير بأحد الطرق السابقة للمنشآت الجديدة وذلك مع زيادة الجرعة الي ٥٠٠ مليجرام /

الباب السادس: تطهير المياه  
لتر وزمن المكث لا يقل إلى ٣٠ ق. يتم التحليل البكتريولوجي للعينات بعد التطهير  
لاختبار عملية التطهير.

#### و- تطهير الخزانات ومستودعات المياه :

يتم عمل خطة للتنظيف والتطهير للخزانات، حيث يمكن تطهير الخزانات بطرق مختلفة. أحد هذه الطرق هو الإضافة المباشرة للكلور مع المياه لملي الخزان، أو إضافة محلول الهيبوكلوريت للمياه، أو إضافة مسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم الي الخزان بعد ملئه بالمياه وذلك بالرش والتوزيع علي سطح المياه أو الإزالة المسبقة ثم الرش علي سطح المياه في الخزان. وفي جميع الحالات يلزم توفير ٥٠ ملجرام / لتر كلور متبقي لمدة لا تقل عن ٦ ساعات. كما يمكن استخدام طرق أخرى حيث بعد الغسيل الحوائط والأسطح الداخلية للخزان يمكن رشها بمحلول به ٥٠٠ ملجرام / لتر من الكلور وذلك للتطهير السريع للخزان بدون إلحاق أضرار للدهانات الداخلية للخزان.

#### ز- تطهير الآبار :

مثل حالات الشبكات والخزانات توجد خطورة من تلوث المعدات والمساهمت والمياه السطحية أثناء عملية الإنشاء والإصلاح للبئر. حيث يلزم عمل التطهير بالكلور أو بأي مادة من مواد الكلور مع توفير من ٥٠ - ١٠٠ ملجرام / لتر كلور حر متبقي لمدة ١٢ ساعة لضمان التطهير المطلوب.

لتطهير بئر محفور قبل تركيب مكوناته (Dug Well) يتم غسيل القيسون أو الدهان الداخلي (السطح الداخلي) بمحلول كلور قوي (٥٠ ملجرام / لتر) وكذا طلمبة الأعماق وماسورة السحب. يتم تشغيل طلمبة الاختبار المؤقتة لملي البئر ثم ترفع طلمبة السحب المؤقت ثم تضاف جرعة كلور ٥٠ ملجرام / لتر لكل المياه في البئر وحول المصفاه (في التربة الجاملة) لمعالجة مناسبة بما يعادل ضعف المياه في البئر تقريباً. تركيب الطلمبة وماسورة السحب ويغطي البئر ليظل محلول الكلور في البئر لمدة لا تقل عن ١٢ - ٢٤ ساعة قبل الضخ وصرف المياه المحملة بالكلور.

أما في حالة البئر المتدفق أو الارتوازي فإنه من الضروري الحد من التدفق المستمر للمياه للمحافظة علي كلور متبقي لها حيث يضاف محلول الكلور الي قاع البئر بالتتابع نفس الطريقة المستخدمة في البئر الجوفي ويتم ذلك باستخدام ماسورة حقن وهذا لعمل خلط ما بين الماء والكلور ما أمكن ثم مع تدفق البئر يوفر كلور متبقي ٥٠ ملجرام / لتر. ثم يغلق البئر تماما لمدة ١٢ ساعة ثم يفتح ويعاد ضخ المياه من البئر الي الصريف.

الاحتياطات: يلزم توفير وسائل ومهمات للعاملين في تداول الكيماويات وكذا تأمين الكائنات المائية من صرف المياه المكلورة بما يتطلب إزالة الكلور قبل صرفها.

### ح- تنظيم إضافة الكلور : (Chlorination Control)

#### (١) مطالب الكلور Chlorine Demand

تختلف خصائص المياه طبقا للمصدر، وقد تختلف خصائص المياه لنفس المصدر من وقت لآخر. وتتأثر كمية الكلور المضافة طبقا لهذه الاختلافات ولهذا يلزم ضبط معدل الكلور ليس فقط طبقا لمعدل تدفق المياه ولكن كذلك لمواجهة التغير في نوعية المياه. من المواد النشطة والتي تتفاعل بسرعة مع الكلور المواد الغير عضوية المختزلة من الحديد والمنجنيز والأمونيا. وكذلك تتفاعل المواد العضوية. وتستهلك الكلور ولكن ببطء مثل البروتينات والأحماض الأمينية والمواد الكربونية. هذه المواد العضوية والغير عضوية تستهلك الكلور الذي تحقن به المياه كما ان بعض التفاعلات وخاصة مع المواد الغير عضوية قد تحدث قبل إتمام عملية التطهير وقتل لكل الكائنات الحية الصغيرة وان كانت هذه الكائنات هي الأسرع في استهلاك الكلور ولهذا فان المواد التي تؤثر علي مطالب الكلور تعقد استخدام الكلور في عملية التطهير نظرا لوجوب استخدام الكلور الكافي ليس فقط وقتل الكائنات الدقيقة ولكن لتعويض الكلور المستهلك. التفاعلات مع المواد الغير عضوية سريع جدا والتفاعل مع المواد العضوية بطيء عموما وتتوقف معدلات التفاعل علي تركيز ونوع الكلور المستخدم عندما تكون إضافة الكلور بهدف معالجة

الخصائص الكيميائية للمياه مثل معالجة المذاق والرائحة من اثر المواد العضوية فان عملية الكلورة تكون حساسة. فعند إضافة الكلور لتحقيق كلور متبقي يكون الكلور المتبقي السائل هو للكلور المتحد المتبقي. وعند إضافة كلور لتوفير كلور حر متبقي عندئذ متعود تفاعلات الأكسدة للمواد العضوية المسببة للرائحة والمذاق وذلك بتغيير هذه المواد أو تدميرها تماما وتحويلها الي مواد لا تسبب مذاق أو رائحة.

يعرف الكلور المطلوب بالفرق بين كمية الكلور المضافة الي الماء وكمية الكلور الحر أو المتحد أو اجمالي الكلور للمتبقي حر ومتحد بعد فترة مكث (التصاق) محدودة. ولنوع معين من المياه فان مطالب الكلور تختلف طبقا لكمية الكلور المستخدم وزمن المكث ودرجة الحرارة.

#### (٢) الكلور المتبقي ( Residual Chlorine )

نوع وكمية الكلور المتبقي المطلوبة لحالة تطبيقية معينة ترتبط بالغرض من المعالجة وتختلف من وقت لآخر ومن مكان لآخر. عندما يكون الهدف هو التطهير عندئذ يؤخذ في الاعتبار الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومطالب الكلور وكذا حساسية الكائنات الدقيقة أو مقاومتها للكلور. ففي حالة طول زمن المكث والالتصاق بين الماء والكلور يكفي تركيز قليل من مادة التطهير بينما زمن المكث القليل يتطلب تركيز عالي لتحقيق نفس المعدل الكافي من التطهير. وكذلك زيادة قدرة التطهير وقتل الكائنات الدقيقة تزداد بزيادة درجة الحرارة. بينما يقل اثر الكلور كلما زاد الرقم الهيدروجيني.

#### ط- معدات الكلورة (Chlorination Equipment) شكل (١٢٨)

يجب أن تحقق معدات الحقن بالكلور الآتي:

\* طرق تحديد والتحكم في التغذية الدقيقة بالكلور.

\* نظام التحكم بالتفريغ لمنع تسرب الغاز مع القفل الآلي تحت أي ظروف في التشغيل.

- \* حاقن لعمل التفريغ المطلوب وحقن المحلول لتأمين الاستخدام الكفؤ لتدفقات المياه المستهدف تطهيرها.
- \* مقياس لقياس معدل التآكل بالكلور.
- \* طريقة مناسبة لتحديد والتحكم في معدل التدفق.
- \* وسيلة آمنة لتسرب الغاز الي الجو في حالة تلف محابس قفل الغاز.
- \* محبس عدم رجوع لمنع ارتداد المياه أثناء القفل بالإضافة إلى أجهزة قفل الغاز ومحابس التفريغ.

#### ٨- ثاني أكسيد الكلور ( $\text{ClO}_2$ ) :

في بعض الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور البديل المناسب لتطهير مياه الشرب. فهو مؤثر في تدمير الفينولات (Phenols) ولا يكون مركبات الترايها لومثيان بكميات مؤثرة وكذلك خصائصه في التطهير لا تتأثر بارتفاع الرقم الهيدروجيني كما في حالة الكلور الحر المتبقي وبالتالي فهو مطهر سريع في الرقم الهيدروجيني المرتفع. ولهذا يستخدم كمطهر في البلاد التي تستخدم مصادر المياه الملوثة من المجاري السطحية لأغراض الشرب. وفي هذه الأماكن يستخدم عادة ثاني أكسيد الكلور بعد استخدام التطهير بالأوزون. ثاني أكسيد الكلور لا يتفاعل مع المواد العضوية المذابة في الماء لتكوين الترايها لومثيان ولا يتفاعل مع الأمونيا ليكون الكلورامين. ولهذا فإن استمرار ثاني أكسيد الكلور في الماء أطول من الكلور الحر المتبقي في نفس الظروف. ولكن ثاني أكسيد الكلور مثل الكلور حساس للضوء ولكن نظرا لأنه لا يتفاعل مع الماء مثل الكلور فإن المتبقي منه يمكن إزالته بالتهوية. ناتج التفاعل لثاني أكسيد الكلور يشمل (Aldhydes, Ketones and Carboxylic) أما المركبات الغير عضوية فتشمل الكلوريد والكلوريت ( $\text{ClO}_3$ ) وقد ثبت أن هذه المركبات من مسببات تكون ميثو مجلو بين الدم (Methemoglobin) ولذلك فقد أوصت منظمة البيئة (BPA) بالا تزييد نسبة نواتج التفاعل مع الماء مع للمركبات الغير عضوية التي ذكرت عن ١ جزء في المليون.

---

الباب السادس: تطهير المياه

ينتج ثاني أكسيد الكلور لمعالجة مياه الشرب من كلوريت الصوديوم ( $\text{NaOCl}_2$ ) مع الكلور (الغاز أو في شكل محلول) وذلك بالخط ويكون التفاعل كالآتي :



وبالإضافة إلى تكون ثاني أكسيد الكلور فإنه قد يتكون أيون الكلوريت ( $\text{ClO}_3$ ) كمنتج ثانوي كالآتي:





## القسم الثاني

### الأوزون (OZONE)

لقد تطابق استخدام الأوزون في معالجة المياه لأغراض الشرب مع استخدام الكلور في توقيت واحد، وإن كان حالياً قل استخدامه عدا في بعض الدول وخاصة في ألمانيا، وفرنسا، وكندا. كما ازداد اهتمام الولايات المتحدة باستخدام الأوزون وذلك نظراً لاحتمال التأثير المسرطن لمركب الترايها لوميثان الناتج عند استخدام الكلور. الأوزون غاز نشط جداً، ورائحته نفاذة. واستخدام الأوزون في معالجة المياه يتطلب الفهم الجيد لخصائصه الطبيعية والكيميائية. كما تعتبر الخصائص الطبيعية ذات أهمية خاصة نظراً لأن إذابته في الماء ونشاط وتحله، ونواته يتأثر بعدة عوامل معقدة. والأوزون غاز عديم اللون ( $O_3$ ) يتم إنتاجه في الموقع ويتم تداوله في الألومنيوم والزجاج والمسيراميك. ويتأكّل الأوزون المتبقي في الماء سريعاً ولكنه يستمر لمدة أطول في الرقم الهيدروجيني المنخفض وفي المياه ذات قدرة الدرع العالية (Highly Buffered Waters) فعند رقم هيدروجيني ٨ فإن نصف العمر للأوزون (Half Life) حوالي ٢٣ دقيقة. ويتوقف نصف العمر للأوزون على نوعية المياه (الكربون العضوي الكلي (TOC)، الكربونات) وكذا على جرعة الأوزون المستخدمة. والأوزون مؤثر في إيقاف نشاط الفيروسات، وقتل البكتيريا، وأكسدة الخلايا الملونة (Chromaphores) بما يعمل على إزالة الألوان. وفي حالات كثيرة فإن الأوزون يقلل من استعدادات المياه لتكوين مركبات الترايها لوميثان. والأوزون يعتبر مزيل للمذاق والرائحة، ويؤكسد الفينول والأوزون لا يكون الترايها لوميثان حتى في وجود البروميد بتركيز يصل إلى ٥.٠ ملليجرام/لتر. ويتفاعل الأوزون مع السيانيد (Cyanides) بمعدل سريع جداً. وتنشط عملية الأكسدة

في حالة وجود مركبات النحاس مع السيانيد كوسيط (Copper Complexes of Cyanides) ولكن للتفاعل يثبط في حالة وجود مركبات الحديد المعقدة (Iron Complexes) وبمجرد دخول الأوزون في المحلول، فإنه يملك طريقين للتفاعل. الأكسدة المباشرة والتي هي بطيئة نسبياً ولكنها اختيارية بدرجة كبيرة، والتفكك الألي (Auto Decomposition) الي الأيدروكسيد، وهذا التفاعل نشيط في وجود شق الأيدروكسيد أصلاً في الماء، أو شق عضوي أو ثاني أكسيد الهيدروجين أو الأشعة فوق البنفسجية أو التركيز العالي لأيون الأيدروكسيد. وشق الأيدروكسيد سريع التأثير في أكسدة المواد العضوية بدون تمييز، ولكن في نفس الوقت، فإنه يزال بأيونات الكربونات والبيكربونات مكوناً شق للكربونات والبيكربونات، وهذه المركبات ليس لها نتيجة في التفاعلات العضوية. ولهذا فإن الرقم الهيدروجيني المنخفض يساعد على بطئ تفاعلات الأوزون المباشرة في الأكسدة، أما ارتفاع الرقم الهيدروجيني أو زيادة تركيز المواد العضوية ينشط التفكك الألي:

والتركيز العالي لعامل الدري (Buffer) من الكربونات أو البيكربونات وخاصة دري الكربونات يقلل من معدل التفكك الألي بإزالة شق الأيدروكسيد.

وهذا يعني أن الأوزون المتبقي (Ozone Residuals) يستمر أكثر في الرقم الهيدروجيني المنخفض وكذا في المياه ذات الدري العالي (Highly Buffered) الأتي يوضح مسار تفاعلات الأوزون في الماء.

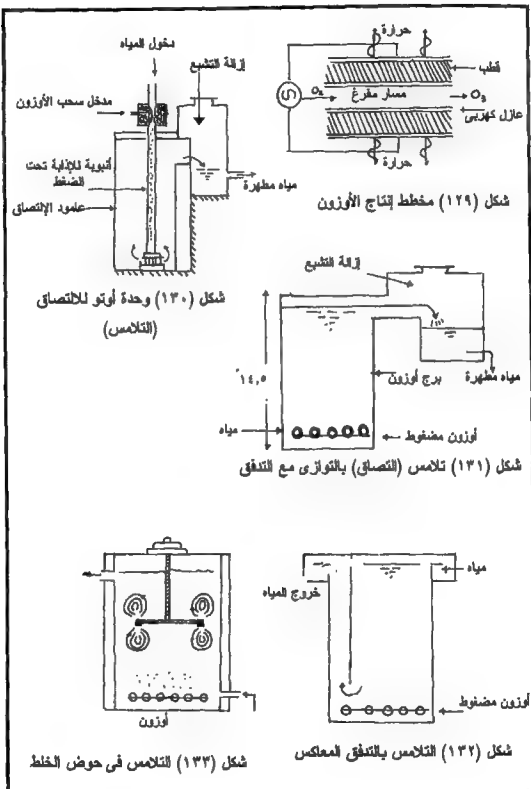
\* تفاعل بطئ إنتقائي بالأكسدة المباشرة للمواد ذات القاعدة العضوية، والكائنات الدقيقة والنشادر.

\* تفاعل سريع مع الأيدروكسيد أو الشق العضوي مكوناً شق الأيدروكسيد:

\* أكسدة الخمائر العضوية، والكائنات الدقيقة، النشادر وهو تفاعل سريع انتقائي.

\* أكسدة أيون البيكربونات مكوناً شق البيكربونات. وهو تفاعل متوسط.

\* أكسدة أيون الكربونات مكوناً شق الكربونات وهو تفاعل سريع.



## الإنتاج والتخزين والتغذية بالأوزون :

الشكل (١٢٩) يوضح الطريقة الأساسية لإنتاج الأوزون. حيث توفير جهد كهربائي (فولت- Electromotive Force) خلال قطبين مع وجود عازل وفاصل بينهما يتم إمرار الهواء خلال المسار المفرغ بين القطبين، حيث يتحول بعض أكسجين الهواء إلى الأوزون. ويتوقف الفولت (فرق الجهد) اللازم لتوليد الأوزون على ضغط المسار (Gap Pressure) وعرض المسار. وكذا فإن كفاءة وحدة إنتاج الأوزون تزداد بزيادة التردد، معامل العزل، وتتناسب عكسياً مع سمك العازل (Dielectric).

والعازل يكون قليل السمك ما أمكن ولو أن العازل الرقيق معرض للتلف. ونظراً لأن زيادة الإنتاج تتوقف على مربع فرق الجهد أي أن الجهد العالي مطلوب، وأن تلف العازل يحدث مع الجهد العالي. ولذا فإن التصميمات الحديثة تستخدم نوعية جيدة من العازل وطرق جيدة لإزالة الحرارة من خلية الأوزون. حيث يستخدم الصلب المقاوم أو الخرسانة.

## طريقة التلامس بين الماء والأوزون : (Contactor Configuration)

توجد أربعة طرق لتوفير التلامس المستعملة عادة. وللشكل العام لهذه الطرق هو استخدام حوض تلامس عميق لتوفير أكبر فرصة لإذابة الأوزون. وأقدم هذه الأشكال هو نموذج (Otto) في الشكل (١٣٠) حيث يتم سحب غاز الأوزون بواسطة شفاط في مدخل المياه المعالجة حيث يحمل المخلوط إلى قاع حوض عميق حيث تتدفق المياه والغاز في اتجاه واحد. وعيوب هذه الطريقة هو أن الشفاط لا ينتج فقاعات صغيرة من جرعات الأوزون مع معدل تدفق المياه الداخلة. ونموذج آخر للتدفق الموازي للماء والأوزون كان استخدامه لا يحقق أقصى تلامس للأوزون مع الماء شكل (١٣١) والشكل (١٣٢) يوضح للتدفق المعاكس وهو الشكل السائد الاستخدام الآن، حيث تستخدم أكثر من غرفة على التوالي. وفي هذا الشكل يستفاد بأكبر كمية من الأوزون. والشكل (١٣٣) حيث يستخدم التقلب يعتبر مناسب كذلك حيث يحقق أكبر انتقال لكمية الغاز وأقصى التصاق للفقاعات في معالجة

المياه. وغرفة الخلط تصنع عادة من الصلب المقاوم للصدأ للتخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس شكل (١٣٤): (Off Gas Disposal)

أحد مشاكل التصميم الرئيسية في نظام التلامس بالأوزون مع الماء هو التخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس والتي تشكل صعوبة في حلها. يفرض أن ملامسات الأوزون تستخدم من ٩٠ إلى ١٠٠ من الأوزون المستخدم، فإن الهواء الخارج من الملامس قد يحتوي على تركيز أوزون بنسبة مرتفعة تصل إلى ٠,١ من حجم الهواء وهذا يزيد عن مستوي ٠,٠٥ جزء في المليون وهو مستوي الرائحة لمحتوي للهواء من الأوزون، وكذلك يزيد عن المعدل القياسي ٠,١ جزء في المليون طبقاً لمعايير الأمان من تركيز الغاز حسب مواصفات المنظمة العالمية (OSHA). ولذلك فإنه لا يمكن التخلص من الهواء المحتوي على ٠,١% أوزون. وللتخلص من زيادة تركيز غاز الأوزون في الهواء تتبع خمسة طرق رئيسية:

- \* إعادة الحقن.
- \* التسخين لإحداث التحلل الألي.
- \* الاختزال الكيماوي باستخدام عامل اختزال.
- \* الاختزال باستخدام عامل مساعد من أكسيد معدن.
- \* التخفيف.
- \* وبالنسبة للطريقة الأولى وهي إعادة الحقن فإنها تتطلب إنشاء برجين للتلامس حيث يضخ الأوزون الخام الي التدفق الهابط للمياه، ثم يعاد ضخ الغازات الخارجة وحفظها في حوض للتدفق للصاعد. والهواء الخارج في هذه الحالة يحتوي نسبة لأوزون حوالي ٠,٠٠١% أو ١٠ جزء في المليون فإن إعادة الحقن فقط لا يحل المشكلة - ولذا فإن إعادة الحقن يجب أن تستخدم مع أحد التقنيات الأخرى.

والطريقة الأخرى هي الاختزال الكيماوي للتخلص من الأوزون المتبقي في الهواء الخارج من الملامس ويتم ذلك بتمرير الهواء الخارج المحتوي على بقايا الأوزون في تدفق معاكس مع عامل اختزال للأوزون في مبخنة مثل المستخدمة في التخلص من الأمونيا في العمليات الصناعية. ويتحكم في هذه الطريقة اختبار عامل

الاختزال الغير مكلف والذي لا يتأكد بأكسجين الهواء الجوي. وإن كان العثور علي عامل الاختزال هذا لم يتحقق حتي الآن.

الأوزون يتحلل بسرعة عند التسخين. ولذا ففي بعض التصميمات يتم التسخين لدرجة حرارة ٢٥٠°م. وإن كان سلبيات هذه الطريقة هي كمية الحرارة اللازمة. وفي بعض التصميمات يتم تدوير للهواء الخارج بعد التسخين الي ٢٥٠°م للتسخين للهواء الداخل الي مدخنة التحلل. وهذا يقلل من الطاقة اللازمة ، ولكن يضيف في التكاليف الرأسمالية.

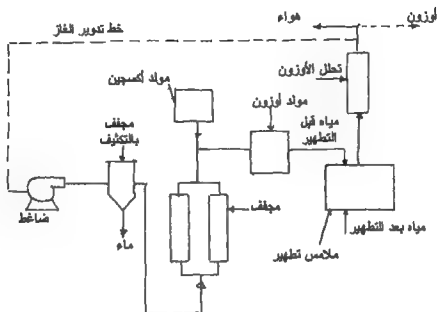
الاختزال باستخدام عامل مساعد حيث تمر الغازات علي سطح العامل المساعد الذي يعمل علي تحلل الأوزون الي الأكسجين. ومن بين هذه العوامل المساعدة أكسيد الحديد، وإن كان هناك مواد أخرى كثيرة. ولكن في جميع الحالات يصعب تقييم هذه العوامل المساعدة والتي قد تتلف أو لا تصلح لفترة استخدام طويلة لتحلل الأوزون في الهواء. وهذه الطرق عموما واسعة الانتشار في أوروبا رغم عن مساهمتها، التخفيف (Dilution) طريقة بسيطة جدا. حيث يتم خلط الهواء مع الغازات المخلوطة بالأوزون خلال برج به ركام (Stack) باستخدام مروحة ذات ضغط عالي وحجم قليل. وفي هذه الحالة يلزم أن يكون البرج الخاص بالخلط عالي بما فيه الكفاية.

#### مميزات استخدام الأوزون :

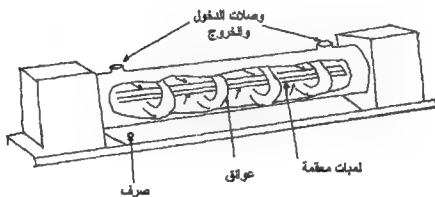
- \* التركيز المنخفض من الأوزون (١ - ٠.٥ جزء في المليون) يقلل الكائنات المسببة للأمراض في أقل من ١٠ دقائق زمن مكث.
- \* الأوزون سريع في تفاعلاته عن الكلور ويعتبر أقوى مبيد للكائنات الدقيقة.
- \* الأوزون لا يتفاعل مع الكيماويات العضوية ليكون للترايبها لوميثان ويمكن استخدامه بأمان كمؤكسد أولي.

#### عيوب الأوزون :

الأوزون مركب كيميائي غير مستقر يتحلل بسرعة ولا يوفر متبقي في الماء بعد حقنه حوالي ٢-٥ دقائق. الأوزون مكلف لارتفاع تكاليف إنتاجه مقارنة بالمطهرات الأخرى.



شكل (١٣٤) عملية التطهير بالأوزون



شكل (١٣٥) نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية





## القسم الثالث

### مواد تطهير أخرى

وهذه تشمل :

#### ١- برمنجنات البوتاسيوم :

برمنجنات البوتاسيوم مادة مؤكسدة وذات تأثير في القضاء على الطحالب وتستخدم في أكسدة الحديد المنجليز وكبريتيد الهيدروجين وكذلك لتحسين المذاق والرائحة وذات أثر محدود كمطهر. وهي مادة مكلفة.

#### ٢- اليود :

يستخدم اليود كمطهر لمياه الشرب للوحدات العسكرية في المناطق المنعزلة وهو يسبب بقع وينتج عنه مذاق غير مستساغ. اليود يتفاعل مع المواد العضوية في الماء مكونا مادة التريها لومثيان.

#### ٣- كلوريد البروم :

يصنع كلوريد البروم من البروم والكلور ويعبأ في اسطوانات مثل غاز الكلور. البروم مطهر جيد ولكنه شديد العدوانية على المواد المعدنية ويسبب مذاق دوائي للماء. يستخدم أساساً في حمامات السباحة لكونه لا يسبب حساسية للعين مثل الكلور. ويكون التريها لومثيان يتفاعله مع المواد العضوية.

## ٤- الأشعة فوق البنفسجية : (UV) شكل (١٣٥)

ضوء الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجة ٢٥٠٠ وحدة أنجسترم مؤثر في القضاء علي البكتريا. تنتج الأشعة فوق البنفسجية من خلال لمبة زئبقية محكمة الغلق توضع موازية لتدفقات المياه بكثافة ضوئية حوالي ١٦٠٠٠ ميكرو وات ثانية علي السنتيمتر المربع عند طول موجة ٢٥٣٧ أنجسترم. العوامل التي تؤثر علي التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية هي كثافة الضوء وطول الموجة وزمن التعرض وعمق المياه المارة فوق اللبنة الزئبقية وكذلك لون وعكارة المياه وكمية ونوع المواد المذابة والعالقة والتي تؤثر بالسلب علي كفاءة التطهير .

جدول (١٥) تأثير المواد المؤكسدة في معالجة المياه

| المعالجة                                   | الكلور     | الكلورامين | الأوزون                       | ثاني أكسيد الكلور | برمنجانات البوتاسيوم | الأكسجين   |
|--|------------|------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|------------|
| إزالة الحديد                               | مؤثر       | غير مؤثر   | مؤثر                          | مؤثر              | مؤثر                 | مؤثر       |
| إزالة المنجنيز عند رقم هيدروجيني أكبر من ٧ | مؤثر قليلا | غير مؤثر   | مؤثر                          | مؤثر              | مؤثر                 | غير مؤثر   |
| الكبريتيد                                  | مؤثر       | غير مؤثر   | مؤثر قليلا                    | مؤثر قليلا        | مؤثر مع كسح الهواء   | مؤثر قليلا |
| إزالة المذاق والرائحة                      | مؤثر قليلا | غير مؤثر   | مؤثر                          | مؤثر              | مؤثر قليلا           | مؤثر قليلا |
| اللون                                      | مؤثر       | غير مؤثر   | مؤثر                          | مؤثر              | مؤثر قليلا           | غير مؤثر   |
| مساعدات للترويب                            | مؤثر       | غير مؤثر   | مؤثر                          | غير معروف         | مؤثر قليلا           | غير مؤثر   |
| لتقريبها لوميكتن                           | غير مؤثر   | غير مؤثر   | مؤثر                          | مؤثر              | مؤثر قليلا           | غير مؤثر   |
| المواد العضوية المخلفة                     | مؤثر قليلا | غير مؤثر   | مؤثر قليلا                    | مؤثر قليلا        | مؤثر قليلا           | غير مؤثر   |
| النمو البيولوجي                            | مؤثر       | مؤثر قليلا | غير مؤثر                      | مؤثر              | مؤثر قليلا           | غير مؤثر   |
|  |            |            | عدا في حالة الحقن على مرحلتين |                   |                      |            |

جدول (١٦) معامل القضاء على بعض الكائنات الدقيقة باستخدام بعض المطهرات

| المطهر                        | بكتريا معوية | فيروسات | الجرثيم | حويصلات الأميبا |
|-------------------------------|--------------|---------|---------|-----------------|
| الأوزون ( $O_3$ )             | ٥٠٠          | ٥       | ٢       | ٠,٥             |
| ثاني أكسيد الكلور ( $ClO_2$ ) | ١٠           | ١,٥     | ٠,٦     | ٠,١             |
| خامض الهيبكلوروس ( $HOCl$ )   | ٢٠           | ١       | ٠,١٥    | ٠,١٥            |
| أيون الأكسيكلوريد ( $OCl^-$ ) | ٠,٢          | ٠,١٢    | ٠,١٠٠٥  | ٠,١٠٠٥          |
| مونوكلورامين ( $NH_2Cl$ )     | ٠,١          | ٠,١٠٥   | ٠,١٠٠١  | ٠,١٢            |

## ٥- إضافة الفلور الى الماء : Water Flouridation

يضاف الفلور الى مياه للشرب طبقا لمعايير علمية وطبية. الفلور موجود بنسب مختلفة في التربة، المياه، النباتات، الحيوان، وفي الأطعمة. أقصى تركيز في الثدييات يكون في العظام والأسنان.

فائدة الفلور للأسنان عند خلطة في مياه الشرب.

عند شرب المياه المحتوية على الفلور فإن ٥٠% من الفلور يتسرب الى عظام الفك والأسنان والباقي (٥٠%) توجه الى المعدة ثم الى جدار المعدة ثم الى مجرى الدم حيث ينتشر في الجسم حيث يزداد تركيزه مع تقدم السن. ونظرا لأن الفلور يعتبر الباحث عن العظام ولذلك فإن كلا من العظام والأسنان تجذب الفلور وتحتفظ به. أما الأنسجة الأخرى لا تحتفظ بالفلور، يترسب في العظام ما يزيد عن ٩٦% من الفلور في الجسم ويكون امتصاص الانسان للفلور سريعا فسي مرحلة تكوين ونمو الاطفال ولهذا يفضل شرب المياه المحتوية على الفلور بالنسبة للأطفال قبل تكوين الاسنان المستديمة.

مستويات الفلور المرتفعة في مياه لها مردود صحي ميسر. الفلور يجعل الانسان مقاومة للأحماض البكتيرية بالإضافة الى أن الفلور يساعد على بناء المينا.

يوصى بتركيز الفلور في مياه الشرب بتركيز من ٠,٧ - ١ ملليجرام / لتر بالنسبة لتلاميذ المدارس يكون التركيز أربع اضعاف ليكون من ٣,٢ - ٤ ملليجرام / لتر ويضاف الفلور أما في شكل فلوريد الصوديوم ( $Sodium Fluoride$ ) حيث ٨,٦

كيلو جرام من فلوريد الصوديوم توفر ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه. في حالة إضافة الفلور من مادة صوديوم سيلكون فلوريد (Sodium Silicon Fluoride) حيث ٦,٣ كيلو جرام تضيف ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه وفي حالة استخدام حمض الهيدروفلوريسيك (Hydro Floursilicic) بتركيز ٢٣% فإنه لتوفير ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر ماء سيتطلب إضافة ٢٠,٨ كيلو جرام حمض. وقد يستعاض عن إضافة للفلور للماء باستخدام الأكراس أو النقط للتحكم في النسب المضافة طبقا لدرجات الحرارة أو الحالة العمرية.

جدول (١٧) المزايا والعيوب العامة لمؤكسدات معالجة المياه

| المؤكسد                | المميزات   | العيوب  |
|------------------------|--|---|
| الكلور                 | مؤكسد قوي<br>سهل الاستخدام<br>يوفر كلور متبقى<br>استخدم منذ زمن بعيد   | منتجات مكورة<br>يتأثر بالرقم الهيدروجيني<br>يمكن أن يسبب مذاق ورائحة في وجود<br>الفينول   |
| للكلورامين             | لا يكون للترابها لوميثان<br>يوفر كلورامين متبقى<br>سهل الاستخدام   | مؤكسد ضعيف<br>يتأثر بالرقم الهيدروجيني<br>يمكن أن يسبب مذاق ورائحة وبعض<br>السميات  |
| الأوزون                | مؤكسد قوي<br>لأثرها لوميثان ولا مواد سامة<br>لا مشاكل للمذاق أو الرائحة، بعض نواتج<br>أكسده قابلة للتحلل البيولوجي<br>يتأثر قليلا بالرقم الهيدروجيني، يساعد<br>للترويب | استمرارية محدودة<br>يتم إنتاجه في المواقع<br>يتطلب طاقة بعض نواتج الأكسده قابلة<br>للتحلل البيولوجي<br>عدواني<br>معتد في الإنتاج والتغذية<br>مكلف |
| ثاني أكسيد<br>الكلور   | مؤكسد قوي<br>يوفر متبقى نسبيا<br>لا يكون تراكب هالوميثان<br>لا يتأثر بالرقم الهيدروجيني  | يكون مواد سامة<br>ينتج ثلوي من $ClO_2$<br>ينتج في الواقع<br>يمكن وجود رائحة من الهيدروكلورونات  |
| برمنجنات<br>البوتاسيوم | سهل التغذية<br>لا منتجات جانبية<br>غير سام   | مؤكسد ضعيف<br>يسبب تآكل وترسيب  |

الباب السابع

**تحلية المياه المالحة**

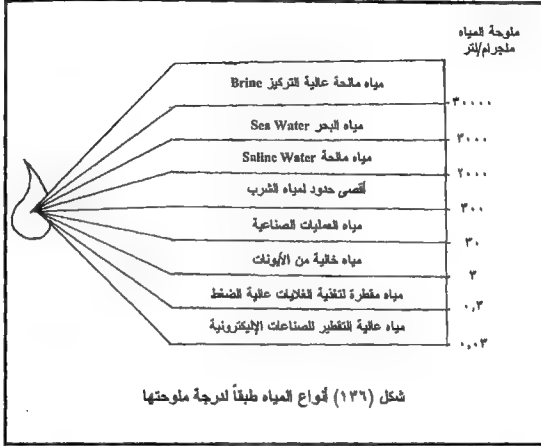


## القسم الأول

### تعريف

#### ١- عملية المياه بعمليات الغشاء: (Membrane Processes)

إن زيادة معدلات الاستخدام للمياه من المصادر السطحية العذبة مع محدودية هذه الموارد وكذلك تسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية بالإضافة إلى تلوث المياه بالمواد العضوية المعقدة. لهذه الأسباب كان اللجوء إلى استخدام تكنولوجيا الغشاء المتقدمة والذي وفر نوعية ممتازة من مياه الشرب أكثر صلاحية من نظم المعالجة التقليدية وذلك بمعالجة المياه المالحة أو للملوثة. شكل (١٣٦) يوضح تسمية أنواع المياه طبقاً لدرجة ملوحتها. وقد كان التطور في عمليات الأغشية لخفض التكاليف الرأسمالية والصيانة والتشغيل بما جعل عمليات الأغشية منافسة لعمليات المعالجة التقليدية.



#### \* أنواع عمليات الأغشية :- (Types Of Membrane Processes)

توجد أنواع معينة من الأغشية ذات الفتحات المختلفة كما في الشكل (١٣٧) والتي توضح العلاقة بين فتحات الغشاء وحجم الميكروميتري للمواد ووزنها الجزيئي. وفي الشكل (١٣٨) مجال المعالجة بالأغشية ذات العلاقة بالملوحة أو بالأملاح الكلية المذابة. وعمليات الأغشية تشمل فصل الأملاح المذابة باستخدام الغشاء بعده طرق وهي التناضح العكسي (Reverse Osmosis) والأليكترودياليسيس (Electrodialysis). ولترشيح بأنواعه المختلفة.



### أ- التناضح العكسي : (Reverse Osmosis - RO)

وهي عملية ضغط للمحلول الملحي مقابل غشاء شبه نافذ، حيث تدفع المياه النقية خلال الغشاء وتترك كل الأيونات (الأملاح). الضغط يزداد عن الضغط الأسموزي للمحلول الملحي.

### ب- الأليكترودياليسيس : (Electrodialysis - ED)

هي عملية تنتقل فيها الأيونات خلال الأغشية من محلول أقل تركيز إلى المحلول أكثر تركيزاً. تتدفق المياه يكون ملامسا لسطح الغشاء بينما تتدفق الأيونات يكون عمودي على الغشاء. عملية الأليكترودياليسيس العكسية. EDR (Electrodialysis Reversal) هي عملية تحليل كهربائي حيث يتغير نوع القطب طبقاً لدورة زمنية وبذلك يتغير اتجاه الأيونات في الأغشية.

## ٣- أنواع الترشيح :

### أ- الترشيح الفائق (Ultrafiltration UF)

الترشيح الفائق هو عملية تتم بالضغط لتركيز المحاليل أو تقطيرها (Fractionating) وذلك للمحاليل المحتوية على مواد هلامية (Colloids) ومواد ذات وزن جزيئي عالي. الترشيح العالي يحجز المواد الغير متأينة (Non Ionic) وعموما يمرر المواد المتأينة حسب قدرة الحجز للوزن الجزيئي للغشاء. (Membrane-MWC- Molecular Weight Cut Off A The Membrane – MWC). وقدرة الحجز للغشاء هذه توصف بالوزن الجزيئي الذي يتم حجز ما زاد عنه. ويعتبر الوزن الجزيئي كدليل تقريبي لحجم الجزيئي. يقوم صناع الأغشية بتصنيف نسبة الحجز لمحلول معين مع معرفة الوزن الجزيئي للمواد المذابة. وتتوقف نسبة

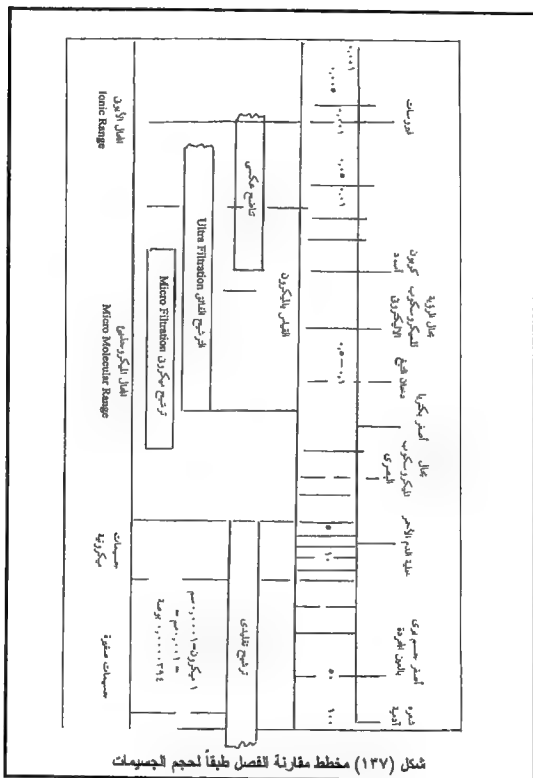
الحجز ليست فقط علي الوزن الجزيئ ولكن كذلك علي حجم الجزيئ وشكله وشحنته.

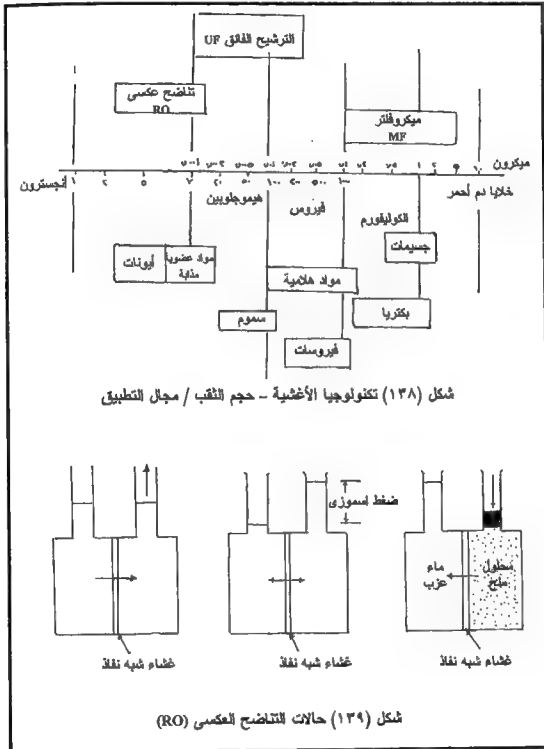
#### ب- ألنا نو فلتر : ( Nano Filtration - NF )

يسمي ألنا نو فلتر غشاء إزالة العسر ( Membrane Softening ). نانو تعني ١ علي ألف مليون أو ( $10^{-9}$ ) وتعني في هذه الحالة حجم الثقب للغشاء. النانوفلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جدا ويمرر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو ملليمتر ( $10^{-9}$  INM) وبذا تشبه إلى حد ما خصائص كلا من غشاء الترشيح الفائق (UF) وغشاء التناضح العكسي (RO). يعمل غشاء النانوفلتر عموما عند مجال وزن جزيئ مرتفع أكثر من التناضح العكسي وبذا فإنه لا يمرر بنسبة عالية الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ولكن النانوفلتر يمرر الأيونات أحادية التكافؤ بنسبة عالية عن الأيونات ثنائية التكافؤ.

#### ج- الميكروفلتر :- ( Micro Filtration )

وهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومترى  $10^{-6}$  ملليمتر في محلول عبر مادة الغشاء. الميكروفلتر يعمل علي ترويق المياه والسوائل الأخرى وذلك بحجز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة علي سطح الغشاء أو داخل المرشح بينما يمرر المواد المذابة والماء.





## القسم الثاني

### التناضح العكسي

(Reverse Osmosis - RO)

أشكال (١٣٩ - ١٤٢)

التناضح العكسي هو عملية الغشاء الذي يعمل كمرشح لجزيئات (Molecules) المواد المذابة، فهو يزيل حتى ٩٠% من كل الأملاح المذابة، حتى ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة ويزيل أكثر من ٩٨% من المواد الهلامية (Colloidal) والبيولوجية من الماء والتي تصل تركيزاتها من ٥٠ جزء في المليون حتى ٦٠٠٠٠ جزء في المليون.

#### ١- نظرية التناضح العكسي :

الضغط الأسموزي هو الظاهرة التي تحدث أحيانا عند تدفق الماء (أو أي مذيب آخر) خلال غشاء شبه نفاذ، أي الغشاء الذي يسمح بمرور المذيب وليس المادة المذابة. المحاليل التي تفضل بمثل هذا الغشاء تميل إلى أن تتساوى في التركيز للجزيئات، وبهذا فإن الماء سوف يتدفق من المحلول الأقل تركيزا إلى المحلول الأكثر تركيزاً. حتى الوصول تقريبا إلى تركيزات متساوية. تتدفق المياه خلال الغشاء يولد ضغط يسمى للضغط الأسموزي.

الضغط الأسموزي لمحلول يزداد بتركيب المحلول. الشكل (١٣٩) يوضح العلاقة الأسموزية لثلاث أنيـة كل مجهـز بغشاء شبة نفاذ كما في الشكل. الإناء في اليسار يوضح النضج (Osmosis) الطبيعي الحثوث. الإناء الأوسط يوضح التـعادل الأسموزي أما الإناء علي اليمين فإنه يوضح الضغط الأسموزي العكسي (RO).

ويمكن التعبير عن تدفق الماء خلال الغشاء الشبة نفاذ بالمعادلة :

$$F_w = A(\Delta P - \Delta \pi)$$

حيث  $F_w$  = تدفق الماء جرام / سم<sup>٢</sup> في الثانية

$A$  = معامل نفاذية الماء (ثابت) جرام/سم<sup>٢</sup>/ثانية عند الضغط الجوي

$\Delta P$  = الفرق في الضغط المسلط عبر الغشاء (جوي)

$\Delta \pi$  = للفرق في الضغط الأسموزي المسلط عبر الغشاء (جوي)

يقدر تدفق الملح المذاب (المادة المذابة) خلال الغشاء الشبه منفذ بالمعادلة

الآتية:

$$F_s = B (C_1 - C_2)$$

حيث  $F_s$  = تدفق المادة المذابة جرام / سم<sup>٢</sup> في الثانية.

$B$  = نفاذية للمادة المذابة في للغشاء سم / ث.

$C_1 - C_2$  = الاختلاف في التركيز عبر الغشاء جرام / سم<sup>٣</sup>.

تدفع المياه خلال الغشاء يتوقف علي الضغط المستخدم. فمع زيادة الضغط علي المياه الداخلة أكثر من الضغط الأسموزي للمحلول، فإن تدفق المياه خلال الغشاء يزداد. تدفق الملح يظل أساسا ثابت وان كان يتناسب مع الاختلاف في التركيز. ولهذا تزداد كميات المياه المنتجة مع زيادة الضغط المستخدم. ويقل معدل تدفق المياه مع زيادة ملوحة المياه الداخلة نظرا لزيادة الضغط الأسموزي.

تتوقف نوعية المياه المنتجة على نسبة الحجز للملح المذاب

الملح المحجوز = ١٠٠ - الملح المار خلال الغشاء.

تركيز المياه الداخلة - تركيز المياه المعالجة (المنتجة)

$$= \frac{100 \times \text{تركيز المياه الداخلة}}{100}$$

معدل الحجز هو النسبة بين تركيز المواد المذابة في المياه الداخلة إلى تركيزها في المياه المنتجة. ويختلف حجز المواد المذابة طبقاً للغشاء المستخدم، تركيز المياه الداخلة، التكافؤ الكيميائي للأيونات وعوامل أخرى. فمثلاً الزرنيخ ثلاثي التكافؤ بحجز نسبة (بمعدل) أقل من الزرنيخ خماسي التكافؤ.

مثال رقم (١)

مياه خام ملوحتها ٢٥٠٠ ملليجرام / لتر أملاح كلية مذابة. المياه المنتجة بعد المعالجة ملوحتها ٨٥ جزء في المليون. ما هي نسبة الحجز للأملاح. ونسبة الأملاح المارة خلال الغشاء.

الحل :

$$\text{نسبة الحجز للأملاح} = \frac{\text{تركيز المياه الخام} - \text{تركيز المياه المعالجة}}{100 \times \text{تركيز المياه الخام}}$$

$$= \frac{2500 - 85}{2500} \times 100 = 96,6\%$$

نسبة الأملاح الغير محتجزة = ١٠٠ - نسبة الأملاح المحتجزة

$$= 100 - 96,6 = 3,4\%$$

كلما زاد معدل الإنتاج يعني زيادة إنتاج المياه من المياه الخام الداخلة ويتوقف زيادة معدل الإنتاج على نوعية المياه ومدى تشبع الغشاء بالرواسب مثل كبريتات الكالسيوم وكبريتات الأسترشيوم وكبريتات الباريوم في المحلول المشبع.

## مثال (٢)

المياه الداخلة ٢,٥ مليون لتر في اليوم بنظام التناضح العكسي أنتجت ٢ مليون لتر في اليوم ما هي نسبة الإنتاج ؟

$$\text{معدل الإنتاج} = \frac{\text{معدل المياه الخام} - \text{معدل المياه المحجوزة}}{\text{معدل المياه الخام}}$$

المياه المحجوزة (شديدة الملوحة) = ٢,٥ - ٠,٥ = ٢ . ٠ مليون لتر / اليوم

$$\therefore \text{معدل الإنتاج} = \frac{٢,٥ - ٠,٥}{٢,٥} = \frac{٢}{٢,٥} = ٨٠\%$$

## ٢- مواد الأغشية المستخدمة في التناضح العكسي: (Material Membrane)

تصنع الأغشية من مواد مختلفة مثل أسيئات السليلوز (Cellulose Acetate - CA) وثنائي أسيئات السليلوز (Cellulose diacetate - CDA) وثلاثي أسيئات السليلوز (Cellulose Tri Acetate- CTA) والبولي أميد (Poly Amide - PA) ومواد أخرى (Aromatic Polyamide) وقد يستخدم غشاء رقيق من مواد مركبة (Thin Film Composite Membrane - TFC) بالنسبة لكيمياء أسيئات السليلوز (CA) كلما زاد المحتوي من مادة الأسيثيل (Acetyl) كلما زاد حجز الأملاح وقل تدفق المياه. وأغشية السليلوز عموماً أقل سعراً ويمكن أن تقاوم الكلور لأقل من ١ ملجرام / لتر في المياه المعالجة مقيم ككلور حر. ولكن هذا الغشاء له سلبياته فهو معرض للتحلل البيولوجي وكذلك معرض للتحلل الكيميائي بالتفاعل مع الماء مكون السليلوز وحامض الأمستيك (الخليك) وهذا التغير يحدث بسرعة عند الرقم الهيدروجيني المنخفض جداً أو المرتفع، ويزداد هنا للتحلل مع زيادة درجة حرارة المياه الخام أو الرقم الهيدروجيني لهذه المياه خارج الحدود من ٥ إلى ٦ ولهذا تتم المعالجة المصبة بالحامض لجعل المياه الخام عند هذا الرقم الهيدروجيني ٥ إلى ٦.



البولي أميد أو الأغشية من المواد المركبة (TFC) معرضة للتآكل في حالة وجود الكلور أو أي مؤكسد آخر إلا أنها تقاوم التآكل البيولوجي وهذه الأغشية تعمل بكفاءة عند رقم هيدروجيني ٤ إلى ١١.

أحيانا يتغير أداء الغشاء وكفاءته بسبب الانضغاط (Compactness) والترسيبات (Fouling) والملوثات. وانضغاط الغشاء يسبب أحيانا خفض في التدفق. ويزداد الانضغاط للغشاء مع زيادة الضغط للمياه الخام وكذلك مع زيادة درجة حرارتها. معظم الانضغاط يحدث عادة في السنة الأولى من التشغيل وهو متغير (Irreversible). الأغشية المتاحة تجاريا تعمل في حدود درجة حرارة من ٢١-٣٥°م. كلما كانت درجة حرارة التشغيل في نطاق هذه الحدود (٢١-٣٥°م) كلما زاد معدل إنتاج المياه المعالجة. يحدث التلوث والترسيب علي الغشاء من وجود الترسبات (Scales) والمواد الهلامية (Colloidal) والأكاسيد والمبيدات العضوية وبعض الملوثات في المياه الخام. وقد يلزم المعالجة المسبقة في بعض الحالات لحماية الغشاء من التلف وتلوث الغشاء ووجود ترسيبات عليه يمكن التعرف عليها من نقص الإنتاج وكذلك زيادة نسبة الأملاح المرة خلال الغشاء. وهذا المؤشر يوجب عمل إجراءات للنظافة للغشاء.

### ٣- أشكال الأغشية : (Membrane Configuration)

توجد أربعة أشكال من تجهيزات الأغشية وهي الحلزونية، والأغشية الرقيقة الجوفاء (Hollowfine Fiber)، والغشاء الأسطواني (Tubular)، الأغشية في شكل ألواح محاطة بإطار (Plate And Frame) ومن بين هذه التجهيزات المستخدمة في تنقية المياه لأغراض الشرب هو تجهيزه الغشاء الحلزونية (Spiral)، الأغشية الرقيقة الجوفاء.

#### أ- الغشاء الحلزوني شكل رقم (١٤٠) :

يتكون من مسطحين مستويين من الأغشية مفصولين عن بعضهما بواسطة مسطح مثقب حامل (Support) وملحومين من ثلاثة أجناب لتكوين جيب. الجانب

الرابع ملتصق بمادة لاصقة وبه أنبوبة مجوفة من البلاستيك لتجميع الماء المعالج. يتم لف (Rolled) الحزوني لهذا الجيب أو المسطح حول أنبوبة الماء المعالج شكل (١٤٠ - ب) مع أحاطه للجيب بغطاء خارجي (External Spaces) ليسمح بتدفق المياه الخام. تتدفق المياه الخام خلال الفراغات بين اللفات الحزونية. تتسرب المياه خلال الغشاء ثم تتدفق من المحيط الداخلي داخل جيب الغشاء التي أنبوبة المياه للمعالجة شكل (١٤٠ - ح) يعد تجهيز الوحدة للمعالجة بالتناضح العكسي باستخدام حتى ستة وحدات محاطة بغطاء يتحمل الضغط (Pressure Vessel) ومركبة في صفوف والغطاء المستخدم يكون عادة من الفيبر جلاس.

الغشاء المستخدم في التناضح العكسي لتحلية المياه المالحة من ٣٠٠٠ حتى ٣٠٠٠٠ مليجرام / لتر يكون أمسيات السليلوز أو البولي أميد أو من البولي إيثر بولي أميد بولي سلفون.

#### ب- الأغشية من الشعيرات الرقيقة الجوفاء: (Hollow Fine Fiber Module)

أقوي الأغشية للمجهزة هو الغشاء من الشعيرات الرقيقة الجوفاء. الشعيرات سمكها قريبا من سمك الشعير الأنمي من مادة البولي أميد بينما المصنع من مادة السليلوز أسيئات لها ضعف السمك.

الشكل (١٤١ - أ) يوضع الغشاء (B 9 Membrane). الشعيرات كثيفة ورقية علي السطح بما يعيق تسرب الملح ويسمح بمرور الماء. وأسفل هذا السطح للشعيرة توجد طبقة متقبة والتي تعمل كحامل لجلد الغشاء المانع لنفاذ الملح ولوجود الثقوب فإنها تسمح بمرور المياه التي تجريف الشعيرة. في عام ١٩٧٣ أنتج غشاء B - IO لتحلية مياه البحر وله قدرة علي تحمل الضغط وسمك جداره أكبر. القطر الخارجي له سمك ٩٥ ميكروميتر (95 Mm) والقطر الداخلي ٤٢ ميكرو متر. الشعيرة الجوفاء لها قدرة تحمل ذاتية وهي عبارة علي أسطوانة كثيفة للجدار. نظرا لأن النسبة بين القطر الخارجي إلى القطر الداخلي هي ٢ : ١ فإن هذه الشعيرات لها قدرة علي تحمل ضغوط للتشغيل العالية بدون تلف. الشكل (١٤١ - ب) يبين

مبادئ التجهيز للشعيرات الجوفاء الأسموزية يشبه أحيانا المبادل الحراري الذي يعمل بالأنابيب. المياه الخام تنتفق خارج وحول الأنابيب. المياه المنتجة تدفق داخل جدار الشعيرات بضغط التشغيل العالي، وتنتفق في الأنابيب الي للخارج والمياه المالحة المركزة تخرج من جانب الجدار الخارجي.

## ٤- التغذية بالمياه الخام في التحلية بالضغط الأسموزي : (Feed Water Supply)

المياه الجوفية هي المصدر المفضل لإزالة الملوحة بالضغط الأسموزي وذلك نظرا لثباتها الكيميائي. وقد لوحظ أن من أسباب تلوث وتلف الأغشية هو ترسيبات الحديد والأملاح الناتجة عن تآكل للقيسون والظلمية لأبار المياه الجوفية. هذا بالإضافة إلى أنه في حالة تعرض المياه الجوفية للهواء الجوي يتأكسد الحديد المذاب في الماء وكذلك مركبات الكبريت بما يسبب تلف شديد للغشاء. ولهذا تستخدم مواد مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم أو البلاستيك في إنتاج المياه من الأبار هذا بالإضافة إلى أحكام قفل البئر لعدم تسرب الهواء سواء استخدمت الظلمية الجوفية أو السطحية.

ويعتبر من الأمور الهامة الدقة في اخذ العينات والتحليل للمياه. ويوصي بما لا يقل عن ثلاث تحليلات منفصلة لتأكيد دقة البيانات التصميمية. يشمل التحليل كل الملوثات وكل الأملاح المذابة في الماء. المياه من المصادر السطحية تتطلب معالجة إضافية مسبقه لمواجهة التغيرات الموسمية في مصدر المياه، بالإضافة إلى تأمين المجري المائي من الملوثات كما ان نوعية المياه المنتجة تتغير مع تغيير نوعية المياه المعالجة. وكذلك يلزم ان تكون المهمات والمعدات والمواسير من مواد غير قابلة للصدأ.

## المعالجة المسبقة: (Pretreatment)

تعتبر المعالجة المسبقة عامل مهم للمحافظة علي كفاءة واستمرار الأداء الجيد للغشاء. يلزم إزالة العكارة والمواد للصلبة العالقة من المياه للخام قبل وصولها الي

الغشاء. يستخدم جهاز مقياس العكارة أو جهاز التحكم وذلك لمراجعة المياه المعالجة بالنسبة للعكارة مع الإيقاف الآلي في حالة زيادة منسوب العكارة عن الحد المسموح به. المواد العالقة مثل الطين والطفلة والتي يمكن أن تعلق بالغشاء تسبب عدم تجانس توزيع المياه وإذا لم يكن هناك نظافة جيدة يحدث ترسيب وتراكمات على الغشاء. وتقاس نوعية المياه المعالجة باستخدام مؤشر كثافة الطفلة ( $Slitdensity$  Index - SDI) هذا الاختبار أو اختبار التراكمات (Fouling Index) يلزم عمله من أن الي آخر علي إمدادات المياه المعالجة. اختبار مؤشر كثافة الطفلة يبين كميات الجسيمات والمواد الهلامية الموجودة في المياه المعالجة، كما أن هذا الاختبار للمياه المعالجة مسبقا يقدر مسبقا كمية المواد التي يمكن أن ترسب على الغشاء في المياه. عموما فإن الغشاء الحارزوني يمكن ان يتحمل أقصى مؤشر كثافة الطفلة قيمته 5 بينما أغشية الشعيرات الدقيقة تعمل في حدود أقل من 3 أو 4. يلزم دائما إضافة كيماويات لمنع الترسبات. عادة يضاف حامض الكبريتيك بتركيز 93% (Baumie ٥٦) إلى المياه الداخلة للتحلية لمنع ترسيب كربونات الكالسيوم  $Ca CO_3$  وكربونات الماغنسيوم  $(Mg CO_3)$  علي الأغشية. من خلال استعمال طريقة ضبط الرقم الهيدروجيني فإن المياه المملحة (Brackish) يضاف لها الحامض حتى الحصول علي مؤشر لانجبلير للتسبوع لتدفقات المياه المالحة المركزة بعد المعالجة (Concentrate Stream).

يستخدم عموما ٢ مقياس للرقم الهيدروجيني (pH Sensors) أحدهما لمقياس الرقم الهيدروجيني للمياه الخام والآخر لقياس الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة. معدات تغذية الكيماويات بتسيب معدل للتغذية طبقا لتدفق المياه الخام. جهاز ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه الخام يتم ضبطه لإعطاء الرقم الهيدروجيني لتدفقات المياه الداخلة. وكذلك يمكن لجهاز التحكم في الرقم الهيدروجيني إيقاف محطة المعالجة في حالة تجاوز حدود الرقم الهيدروجيني وذلك لأماكن حماية الغشاء من الترسبات والتلف. تتم تغذية بالكيماويات قبل خرطوشة المرشح وقد تشمل خلاط علي الخط لتأكيد الخلط الجيد قبل وصول المياه الي الغشاء. يمكن كذلك منع ترسيبات كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم بالتبادل الأيوني ولكن هذه الطريقة أكثر

تكلفة من ضبط الرقم الهيدروجيني باستخدام الحامض. مع توقف وحدة التحلية يتم شطف (غسل Flushed) الأغشية بتدفقات مياه خام حامضية أو بمياه محلاة غير مكثورة لإزالة المياه عالية التركيز (Brine) نتيجة طول الالتصاق مع الأغشية. وفي حالة ترك المياه عالية التركيز ملاصقة للغشاء سيحدث ترسيب، في حالة توقف الوحدة لعدة أيام يتم تطهير الأغشية أو تعقيمها بالمليء بمحلول مطهر مثل الفورمالدهايد أو بايسلفيت صوديوم (Sodium - Metabisulfite) طريقة أخرى هي وضع الوحدة في الإحتياط بدون استخدام مطهرات مع التشغيل اليومي لمدة لا تقل عن ٣٠ دقيقة، عندئذ يتم مراقبة النمو البيولوجي عند استخدام هذه الطريقة.

ترسيب الكبريتات أكثر صعوبة في الحد منها عن ترسيب الكربونات. كلا من كبريتات الكالسيوم والباريوم والأسترنشيوم يمكن ان تسبب مشاكل في أنظمة معالجة المياه متوسطة الملوحة (Brackish) مع مراجعة للحسابات لتأكيد عدم الزيادة عن حدود الإزابه. وعموما لا تعتبر الكبريتات مشكلة في تحلية مياه البحر بالضغط الأسموزي ورغم هذا يلزم عمل الحسابات لعمل حدود الإزابه.

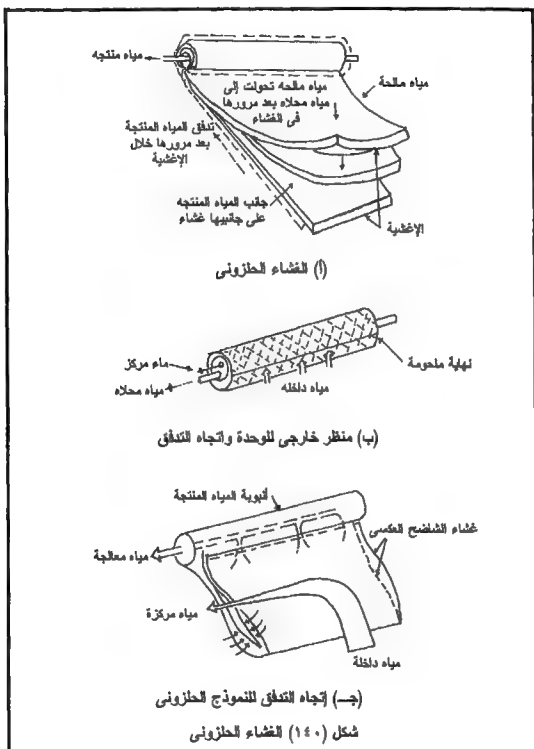
فقد استخدم مركب صوديوم هكساميتا فوسفيت (Sodium Hexa Meta Phosphate) (SHMP) كمادة تغلف (Sequestrant) للحد من ترسيبات الكبريتات. ولقد استخدمت مادة SHMP للحد من ترسيبات الكبريتات عند ضعف مستوى التسبب للمياه المركزة (Concentrate). كلا من الباريوم والأسترنشيوم أقل في الإذابة من كبريتات الكالسيوم. يتم حقن مادة SHMP في مجري التغذية بالمياه الخام بعد الحامض وقبل خرطوشة الترشيح. ويوصي كذلك بتجهيز الخلط بخلط ثابت لضمان حسن الخلط ويقدر معدل التغذية بـ ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر. وعيوب مادة SHMP هي أن المادة تتحلل في الماء مكونة مادة الأورثوفوسفيت وهي مادة غير مؤثرة في منع ترسيب الكبريتات ولهذا يلزم تحضير احتياجات يوم واحد وخلطها قبل الاستخدام. حديثا استبدل استخدام مادة SHMP بمواد مائعة للترسيبات أو البوليمرات عالية الكثافة (Long Chain Polymers) بديلا عن الحامض فان مادة SHMP أو أحد المواد المائعة للترسيب (Antiscalants) يمكن أن تضاف الي المياه الخام (الداخلية) عندئذ فان مؤشر لانجلبير للتسبب يمكن ان يرتفع حتى ١٤٩. وهذا

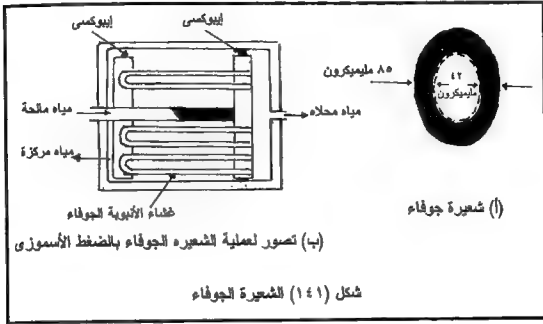
يقتل من الاحتياج إلى الحامض بدرجة كبيرة كما أنه مناسب لكسل الأغشية من البولي أميد مع الحجز الجيد عند رقم هيدروجيني متعادل.

الأغشية من أسيتات السيلولوز (CelluloseAcetate - CA) تظل تحتاج الي إضافة حامض لمنع التحلل. يعتبر الاختبار التجريبي لمواد التغليف كملحق لاختبار العملية نظرا لأن بعض المواد يمكن أن تعمل بكفاءة مع نوعية معينة من المياه.

تعتبر خرطوشة الترشيح ضرورية لكل من المياه السطحية والجوفية. ويستخدم عادة المرشح ذو الثقوب ٥ ملليمكرون (5 Mm) في وحدات الضغط الأسبومزي. ويتم تغيير المرشح عندما يكون الفرق في الضغط عبر المرشح حوالي ١٥ رطل / البوصة المربعة وذلك بواسطة أجهزة قياس الضغط عبر المرشح التي تتركب علي مدخل ومخرج المرشح. ويكون غطاء المرشح من الصلب المقاوم أو الفبرر جلاس. المحتوي من المواد العضوية والكائنات الدقيقة يلزم تقديره مسبقا. وهذه الملوثات احتمالاتها في المياه السطحية أكثر منه في المياه الجوفية. والمواد العضوية الغير مذابة في الماء يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء. للتناضح العكسي يمكن أن يعمل علي مياه تحتوي علي ٢٠ مليجرام / لتر كربون عضوي (Organic Carbon). للبكتريا والطحالب يمكن أن تسبب ترمسيبات وتلوث للمياه المنتجة وكذلك التحلل البيولوجي للغشاء. يمكن استخدام الكلور مع الأغشية التي تتحمل استخدامه للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعض الأغشية لا تتحمل مادة الكلور المتبقي مما يتطلب استخدام المبيدات للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعد التخلص من الملوثات يمكن معالجة الغشاء بمادة مبيدات حشرية ثم باستخدام منظف صناعي. المياه السطحية قد تحتاج الي مروب أو بوليمر كاتايوني قبل الترشيح للتخلص من المواد الهلامية (Colloidal). كلا من كبريتات الألومنيوم وبعض البلمرات الآن أيونية مثال للإضافة الكيميائية التي قد تسبب التلف ولهذا لا يتم استخدامها. المحتوي من الألومنيوم أكثر من ١.٠ مليجرام / لتر (AsAL<sup>+++</sup>) يمكن أن يسبب مشكلة لنظام المعالجة بالتناضح العكسي.

كلا من الزيوت والشحوم يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء بتكوين طبقة علي سطح الغشاء بما يؤثر علي نوعية الحجز.





## ٥ - مجموعات وصفوف الأغشية : (Membrane Blocks and Arrays)

تتكون وحدة المعالجة بالضغط الأسموزي من مجموعات كل مجموعة من عدة وحدات في صف، كل وحدة ممتلئة للأخرى وذات طاقة مناسبة طبقاً للتصميم. في حالة الرغبة في زيادة طاقة محطة المعالجة يمكن تنفيذ ذلك بسهولة. كما يمكن إيقاف مجموعة للنظافة أو التعديل. المجموعة يتم تنظيفها مرة واحدة وهي تتكون إما من وحدة واحدة أو أكثر. وتتوقف المراحل أو عدد المجموعات على معدل المعالجة (Recovery Rate) والذي يتوقف بالتالي على نوعية المياه الخام. يمكن تحقيق نسبة معالجة ٥٥% للمياه الملحة (Brackish) في مرحلة واحدة. أما المرحلتين فتتحقق نسبة ٧٥ - ٨٠% والثلاث مراحل من ٨٥ - ٩٠% في هذا النظام (شكل ١٤٢). في النظام متعدد المراحل فإن المرحلة الأولى تكون المياه عالية التركيز المنتجة منها هي المياه الخام للمرحلة الثانية والمياه العالية التركيز من المرحلة الثانية هي المياه الخام للمرحلة الثالثة، وهذا للإستفادة من الضغط المتبقي في المياه المركزة. عند معرفة البيانات التفصيلية لنوعية المياه، وعدد



المراحل والوحدات في كل مرحلة ومعدل المعالجة ونوعية المياه المنتجة يمكن بسهولة عمل التصميم لمحطة المعالجة بالضغط الأسبوزي كما تصمم المحطة مع مراعاة كفاءة الغشاء طبقاً لعمره الافتراضي. والعمر الافتراضي للتصميمي للغشاء والذي يتراوح ما بين ٣ - ٥ سنوات حيث يحدث بعد ذلك انضغاط تام للغشاء. يحدد الضغط للمياه الداخلة عند التصميم.

#### أ - الأجهزة المستخدمة : ( Instrumentation )

يلزم توفير المطلوب من أجهزة التحكم لتأكيد سلامة التشغيل وعدم التلف للغشاء المستخدم. وهذه الأجهزة تعمل على توقف المحطة في حالة زيادة ضغط الطلمبة، وضعف ضغط السحب (Low Suction Pressure) وزيادة ملوحة المياه المعالجة (زيادة التوصيل الكهربائي) وزيادة لونه نقص معدل التدفق وزيادة الملوحة للمياه المنتجة وضعف تدفق مزيلات الترسيب بالإضافة إلى عوامل أخرى.

#### ب - نظام المعالجة النهائية : ( Post Treatment Systems )

يلزم إزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. خفض ثاني أكسيد الكربون يعمل على رفع الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة وإزالة كبريتيد الهيدروجين يعمل على إزالة الرائحة الكريهة. يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة باستخدام الصودا الكاوية أو الجير، يضاف الكلور للتطهير. نظراً لإزالة كل المواد العضوية من المياه المنتجة فإن الكلور المطلوب يكون قليلاً وعادة فإن الكلور المضاف يكون كلور حر متبقي.

#### ج - إستعادة الطاقة : ( Energy Recovery )

لقد كانت استعادة الطاقة تعتبر اقتصادية لمعالجة (تحلية) مياه البحر فقط والآن أصبحت مناسبة كذلك للمياه المملحة (Brackish) حيث استخدمت في المحطات ذات الضغط المنخفض وذلك باستخدام طلمبة غاطسة من الصلب المقاوم والمحرك يدور في الإتجاه المضاد. والحركة العكسية للتربين توضع في خط الصرف المضغوط

الباب السابع: تحلية المياه المالحة

(Pressurized brine). مع تنفق المياه عالية التركيز تدور للتربينة الغاطسة بالعكس وبالتالي تحرك المحرك بالعكس، وبذا تتولد طاقة كهربية. الطاقة المنتجة تعود إلى مصدر الطاقة الرئيسي للاستخدام في محطة التناضح العكسي.

#### ٥- النظافة وتجديد الغشاء :

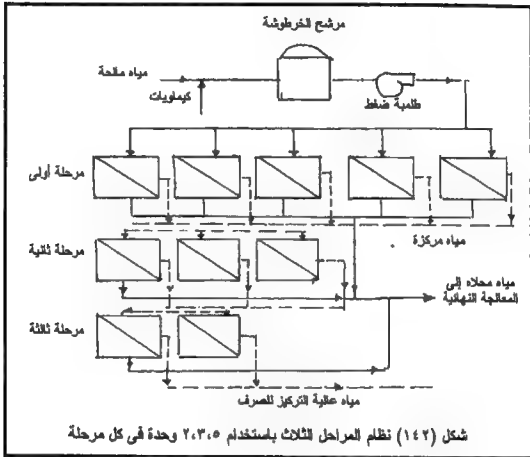
وحدة النظافة تعتبر مكملة لمحطة المعالجة. وتتكون وحدة النظافة من طلبية من الصلب المقاوم توفر التدفق والضغط المطلوب، حوض من الفير جلاس أو من البولي إيثيلين بسعة تخزين ثابتة، مرشح خرطوشة ١ - ٥ ملليمكرون، مواسير غير قابلة للصدأ والتآكل وكذلك المحابس وخلطة.

يلزم إن يكون العاملين علي وعي لظروف التشغيل حيث تعطي إشارة عند الحاجة الي النظافة. ومن هذه الإشارات زيادة مرور الأملاح بنسبة ١٥ % أو أكثر، الانخفاض في الضغط بنسبة ٢٠% أو أكثر، تنفق المياه المحلاة يقل أو يزيد بنسبة ٥%، تغير تنفق المياه المركزة بنسبة ٥% وكذلك وضوح الترسيبات. مواد النظافة عادة توصف بواسطة المنتج وذلك للنظافة الكيماوية أو البيولوجية. بعض الكيماويات المستخدمة في النظافة تشمل حامض للتنيك (Tannic acid) بولي فينيل ميثيل إيثر (Ploy Vinyl Methyl Ether).

#### ٦- إمكانيات المعالجة بالتناضح العكسي :

بالإضافة إلى تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة، فإن التناضح العكسي يستخدم في التخلص من المواد العضوية الطبيعية والمخلفة المذابة في الماء. وكما انخفاض الوزن الجزيئي كلما زادت إمكانيات الحجز. ويزال كذلك كلا من البكتيريا والفيروسات. وكذلك نسبة الإزالة عالية بالنسبة للمعادن الثقيلة والأملاح المذابة الأخرى. وكذلك يمكن التناضح العكسي من إزالة المواد المشعة (Radionuclide). والاستخدام الرئيسي للتناضح العكسي هو إنتاج المياه للإغراض الطبية ولأغراض الترطيب ولإنتاج البخار في عمليات كي الملابس بالبخار. هذا بالإضافة الي،

استخدامها في إنتاج مياه الشرب وذلك بعد زيادة ملوحة المياه للمعالجة طبقاً للمعايير المقررة.





## القسم الثالث

# الفصل الكيميائي الكهربائي أو الأليكترودialisيس (Electrodialysis – ED)

لشكل من (١٤٣-١٤٧)

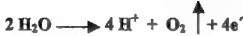
الأليكترودialisيس هي عملية فصل كهر وكيميائية حيث تنتقل الأيونات السلي أغشية أن أيونية وأغشية كاتأيونية من محلول أقل تركيز الي محلول أكثر تركيزاً نتيجة لتدفق التيار كهربائي ثابت. والفصل الكهربائي الكيميائي العكسي (EDR) هو عملية يتم فيها تغيير اتجاه حركة الأيونات في الاتجاه العكسي. وتستخدم طرق ED / EDR في معالجة المياه المملحة لتكون صالحة للشرب أو لإزالة الأملاح أو تركيز المحاليل بهدف إعادة الإستخدام. وسيتم التعبير عن الفصل الكهروكيميائي أو الأليكترودialisيس بالرمز (ED) وعن الأليكترودialisيس العكسي بالرمز (EDR).

## ١- حركة الأيونات: (Ion Transport)

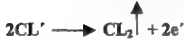
لتقهم ED فإنه يلزم تقهم أثر التيار للثابت علي محلول أيوني. بفرض حوض مستطيل مزود بقطب عند كل جانب. الحوض مملوء بمحلول كلوريد الصوديوم شكل (١٤٣) عند مرور تيار ثابت عبر القطبين، فإن الكاتأيونات  $Na^+$  تتجذب نحو القطب السالب والذي يسمى إلكثود، بينما الآن أيونات  $Cl^-$  تتجذب نحو القطب الموجب والذي يسمى الأنود. وعند للكاثود يحدث تفاعل الاختزال التالي لأيون الهيدروجين نتيجة تحلل المياه.



وعند الأنود يحدث تفاعل الأكسدة التالي لأيون الأيدروكسيد



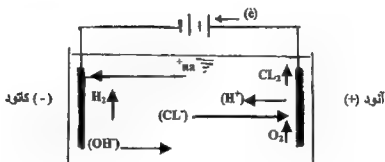
وقد يحدث عند الأنود كذلك تفاعل يشمل تكوين غاز الكلور



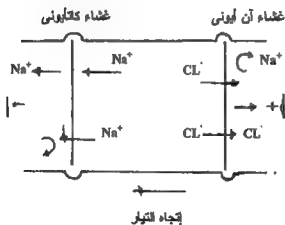
أغشية ED هي أسلما راتنجات في شكل رقائق (مسطحة) كاتايونية أو أيونية أو غير أيونية. ولهذا تسمى غشاء كاتايوني أو غشاء أن أيوني. وفي عمل مصفوفة ED شكل (١٤٣) فإن الأيونات المذابة والغشاء الكاتايوني والأن أيوني ومجال التيار الكهربائي الثابت تعمل مع بعضها لإزالة الأملاح أو الأيونات في الماء وكذلك تعمل على تركيز الأيونات المزالة في مجرى المياه المركزة. في مصفوفة الأغشية فإن المياه المحتوية على الأيونات المذابة يتم ضخها بين الغشاء الكاتايوني والأن أيوني وذلك خلال مجرى من الليولي إيثيلين.

الأيونات السالبة تمر خلال الغشاء الأن أيوني بينما الأيونات الموجبة تحتجز. وعلى العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتايوني بينما الأيونات السالبة تحتجز. وهذه الأيونات المارة خلال الأغشية الأن أيونية والكاتايونية تجمع في غرفة التجميع وتكون المحلول الملحي المركز. أغشية ED هي أغشية موصلة للكهرباء وهي غير منفذة للمياه تحت الضغط. وعند تمرير تيار كهربائي ثابت في هذه المصفوفة فإن كل الكاتايونات تتحرك نحو القطب السالب. وفي حالة مقابلة الكاتايونات للغشاء الأول عندئذ فإن الكاتايونات تمر إذا كان هذا الغشاء كاتايوني فإن الأيونات تمر إلى غرفة المياه التالية، تاركة خلفها خلية تخفيف أو مزالة كاتايوناتها. وعلى العكس في حالة مقابلة للكاتايونات للغشاء الأول ويكون غشاء أن

أيوني، فإن هذا الأيون لا يمر بل ويحتجز في مكانه حيث تصبح هذه غرفة تركيز كما في الشكل (١٤٣) الآن أيونات تمارس الحركة في الاتجاه المضاد حيث تجذب بواسطة القطب الموجب.



شكل (١٤٣) أثر فرق الجهد للتيار الثابت على المحلول الأيوني



شكل (١٤٤)

## ٣ - المصفوفة : (The Stack)

في الشكل رقم (١٤٤) الأيونات تترك الغرفة الوسطي خلال الغشائين ويتم إزالة الأملاح من المياه، بينما الغرف الخارجية يزداد تركيزها بالأيونات. في الشكل (١٤٥) فإن هذه الفكرة تم امتدادها لتكوين أغشية متبادلة من الكاتيون والآن أيون، كل بنفس التيار الثابت المار خلالها بالتالي بتكرار نفس للنظام المبسط الشكل (١٤٤). في الشكل (١٤٥) فإن الغرف الثانية والرابعة والسادسة (من اليسار) تزال ملوحتها بينما الغرف الأولى والثالثة والخامسة والسابعة تزداد ملوحتها. تجهز المصفوفة بنظام صرف لكل من هذه الغرف المتماثلة مع بعضها. وهذه المصفوفة في الواقع تتكون من عدد من الوحدات المكررة والتي تسمى الخلية المزدوجة. المصفوفة الواحدة تحتوي عادة علي ١٠٠ إلى ٦٠٠ خلية مزدوجة والخلية المزدوجة بين القطبين تكون كهربيا علي التوالي ولهذا تحمل نفس التيار الكهربى.

الشكل (١٤٦) يبين بالتفصيل الخلية المزدوجة (Cell Pair) وهي تتكون كهربيا من أربع مقاومات علي التوالي، حيث مقاومة الأغشية الرقيقة والموصلة صغيرة نسبيا. خلية التركيز (Concentrate Cell) محتوياتها عادة جزء من تدوير التدفق، فبالتكوير يحدث خفض للصرف وكذلك لزيادة التوصيل الكهربى للصرف وكذلك تنخفض المقاومة الكهربائية لخلية التركيز الي مستوي منخفض نسبيا. خلية التخفيف أو إزالة الملوحة (Desalting Cell - Dilute Cell) تحتوي علي مياه ذات ملوحة ما بين المياه الداخلة والمياه المنتجة، والتي تقل بالتدريج مع إزالة الأملاح الموصلة من المياه المالحة. وعملية خفض المنترج للتوصيل (زيادة المقاومة) هي العامل الحاسم في نقاء المياه المنتجة. نظريا التيار يمكن أن يمر خلال المياه حتى إزالة كل الأملاح المذابة (Electrolytes) (ولكن كمية الطاقة الكهربائية اللازمة لاستمرار هذه العملية مع خفض الأليكتروليت كبيرة). عمليا تنقية المياه بطريقة ED ينتهي عندما يكون الأملاح الكلية المذابة TDS للمياه المعالجة (المخفضة - Dilute) مكافئ لحوالي ٥٠٠ جزء في المليون مقيم ككلوريد صوديوم (NaCl). ونوعية المياه هذه تمثل مياه الشرب طبقا لمعايير منظمة الصحة العالمية. وحاليا يزداد

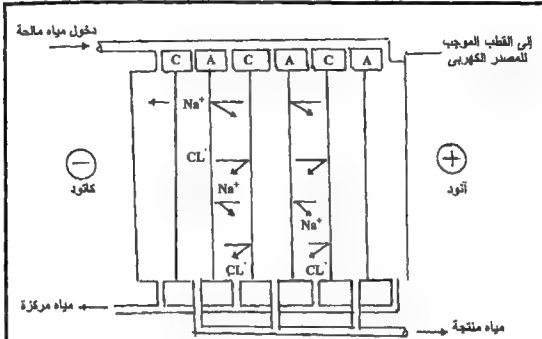


استخدام (ED) في عملية المعالجة المسبقة للمياه قبل عملية التبادل الأيوني بما يقلل من احتياجات لأحماض والقلويات، حيث نقل الملوحة الي ٥٠ جزء في المليون قبل عملية التبادل الأيوني.

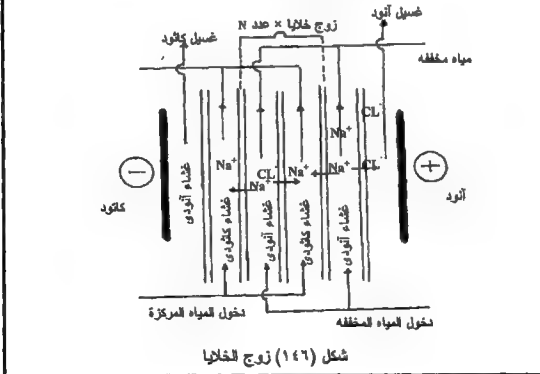
### ٣- تغيير وتبديل الأقطاب : ( Polarity Reversal )

بدلا من ED التقليدي ذو الاتجاه الواحد، في الأليكتروديا ليسيس العكسي (EDR- Electrolysis Reversal) فإنه يتم عكس الأقطاب طبقا لدورة زمنية محددة، وهي حوالي ١٥ - ٢٠ دقيقة. التغير في الشحنة الكهربائية للقطب عبر منظومة الغشاء تغير في اتجاه الحركة. حيث يحدث تبادل لتدفق الأيونات وكذلك المياه المحلاة والمركزة. ويحدث تغير اتجاه التدفق آليا بواسطة المحابس التي تقلل كلا من مجري الدخول والخروج بحيث تتدفق المياه الداخلة إلى غرف الدخول الجديدة (البديلة) وكذلك المياه المركزة إلى غرفة التركيز الجديدة.

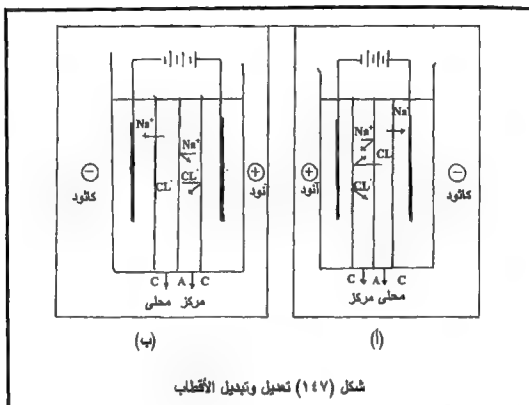
القطبية المعكوسة توفر الفسيل الآلي للمواد المكونة للترسيبات من علي سطح الغشاء. ولهذا فإن القطبية المعكوسة تتطلب معالجة مسبقة صغيرة وقد لا يحتاج لها ذلك لتقليل الترسيب الذي تحدثه المياه الداخلة شكل (١٤٧- أ، ب).



شكل (١٤٥) نظام المصفوفات



شكل (١٤٦) زوج الخلايا



#### ٤- الاستقطاب : Polarization

كثافة التيار هي كمية التيار علي وحدة للمساحة من سطح الغشاء. يمكن زيادة كثافة التيار حتى نفاذ كل الأيونات تقريبا للقريبة من سطح الغشاء. عند الوصول الي هذا الحد فانه يتم الوصول الي تركيز الاستقطاب أو حدية كثافة التيار. وهذا الحد يتوقف كذلك علي درجة الحرارة، تنفق المياه، نوع الأيونات وتركيزها ونوع الغشاء. في ED كل الأيونات تنتقل خلال الغشاء بواسطة الانتقال الكهربائي، والباقي يصل الي سطح الغشاء من تنفق المياه وانتشارها. تركيز الأيونات في خلية (غرفة) إزالة الملوحة يصبح غير موجود في الطبقة الرقيقة المجاورة لسطح الغشاء نظرا لانتقال الأيونات من الخلية خلال الغشاء وعند الاستقطاب فإن السائل عند سطح

الغشاء يكون خاليا من الأيونات تماما (Electrolyte) وبذا تحدث زيادة ملحوظة في المقاومة لخلية الغشاء. وهذه الزيادة في المقاومة مع كثافة التيار هي علامة الاستقطاب. عند هذه النقطة فإن الأيونات الناتجة عن تحلل الماء لها تركيز مساو للإلكتروليت عند سطح الغشاء. يحمل جزء من التيار الكهربائي خلال الغشاء الآن أيوني بواسطة أيونات الأيدروكسيد الي جانب التركيز، بما ينتج عنه زيادة في الرقم الهيدروجيني وزيادة في ترسيب كربونات الكالسيوم. والتغير في الرقم الهيدروجيني للتدفقات يمكن أن يوضح متى يحدث الاستقطاب.

الاستقطاب يسبب مشاكل منها خفض كفاءة التيار، وزيادة استهلاك الطاقة، وخفض انتقال الأيونات المطلوبة في منطقة الاستقطاب. والقيمة الحدية أو النهائية للتيار (Limiting Current density) يمكن زيادتها بزيادة درجة الحرارة، وسرعة السائل أو تركيز المحلول. ولأقصى قيمة حدية للتيار يمكن استخدامها تعادل ٧٠% من القيمة الحدية لنظم ED والذي يسمح بمعامل أمان مناسب.

تخفض الترسيبات في نظام ED بعمل الاضطراب المناسب (Turbulence) في مجري المياه للقريب من سطح الغشاء، أو بإضافة الكيماويات مثل الأحماض أو مزيل الرواسب (Antiscalant). EDR. تزيل الترسيبات بدون الحاجة الي كيماويات.

هناك اعتبارات تصميميه بالنسبة لنظام ED يلزم مراعاتها وهي :

نسبة تركيز الأيونات يلزم أن تظل أقل من ١٥٠ : ١ (المياه للمركزة مقابل المياه المحلاة) ويمكن أن تزداد هذه النسبة الي ٢٠٠ : ١ أو ٢٥٠ : ١.

عند استخدام EDR بدون إضافة كيماويات فإن المياه للمركزة يجب أن تحتوي علي أقل من ٢٠٠% من تشبع كبريتات الكالسيوم. وعند إضافة الكيماويات إلى المحلول المركز (المياه للمركزة) يمكن أن يكون تشبع كبريتات الكالسيوم حتى ٣٥٠%. مؤشر لانجبلير للتشبع يجب أن يظل أقل من ٢,٢.

## ٥- خصائص الأغشية : ( Membrane Properties )

كلا من الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية لها مظهر سطح البلاستيك شبه شفاف المقوي بألياف من البلاستيك. والسطح ناعم وأملس والمسطح مستطيل كما أن له عدة أشكال (أحجام) كل الأغشية لها نفس السمك (٠,٥ ملليمتر) معظم الأغشية الآن أيونية شبه شفافة بيضاء بدون أي لون ومختومة بكلمة (Anion). علي جانب الغشاء وخلالها تثبت للشحنة الموجبة في مرحلة التصنيع وهي عبارة عن أيونات الأمونيوم الرباعية والتي تصد الأيونات الموجبة وتسمح للأيونات السالبة بالمرور.

أغشية الكاتأيونات تختلف في اللون من البني الي الأبيض ومختومة بكلمة (CATION) وأثناء التصنيع تثبتت علي جانبي الغشاء وخلالها الشحنات السالبة التي تصد الأيونات السالبة وتسمح للأيونات الموجبة بالمرور خلالها.

وكلا من الأغشية للكاتأيونية والآن أيونية لهم خصائص واحدة فكليةما غير منفذ للمياه تحت الضغط، مقاوم للترسيبات، قدرة تحمل عالية، مقاوم للتغير في الرقم الهيدروجيني من ١١ إلي ١٠، شبه صلب، وله مقاومة كهربية منخفضة، ولا يذوب في المحاليل المائية، ويمكن أن يعمل في درجات أكثر من ٤٦ °م ومقاوم للانفخاض الأسموزي.

استهلاك الطاقة الكهربائية لضخ المياه للدخلة هو حوالي ٢,٥ كيلووات/ساعة لكل ١٠٠٠ جالون عند الضغط العادي للمحطة ٥ - ٦ جوي. الطاقة اللازمة للأغشية للمنظومة حوالي ٢ كيلو وات ساعة لكل ١٠٠٠ ملجرام / لتر من الأملاح المزالة. الطاقة اللازمة لنظم التحكم والسيطرة هي حوالي ٥% من إجمالي الطاقة.

## ٦- الاعتبارات التصميمية :

يتم التغذية بمياه المصدر إلى طلمبة التغذية بضغط ٠,٢ الي ٢ جوي. طلمبة التغذية تصخ المياه الي خرطوشة المرشح تحت ضغط ٥-٦ جوي (١٠ ميكروميتر) المياه المنتجة من (ED) لا تمر خلال الغشاء كما في حالات التناضح

العكسي (RO) أو الترشيح الغالبق (UF) ولهذا يلزم الأخذ في الاعتبار في نظم المعالجة المسبقة في حالة (EDR / ED) عدم وجود مواد عضوية أو مواد هلامية أو كليهما في المياه الداخلة. المياه الداخلة تتطلب معالجة مسبقة عادة إذا كانت تحتوي علي كلور حر أكثر من ٠,٥ ملليجرام / لتر، حديد أكثر من ٠,٣ ملليجرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين أكثر من ٠,٣ ملليجرام / لتر، عكارة أكثر من ٢ نيفيلوميتري (2NU) أو منجنيز أكثر من ٠,١ ملليجرام / لتر.

أقصى إزالة للأملاح هي من ٤٠ - ٥٠ % لكل مرحلة هيدروليكية. تستخدم طريقة (ED / E DR) لمعالجة المياه المملحة (Brakish) لإعدادها للشرب، كذلك لإزالة الأملاح ولتنقية المواد الغذائية، ولإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي.

## القسم الرابع

### الترشيح الفائق

#### (Ultra Filtration - U F)

١- الترشيح الفائق يعرف بعملية الفصل باستخدام أغشية شبه نافذه (Semipermeable Membrane) لفصل جزيئات الأملاح (Macro Molecules) في المحلول. العامل الهام في حجز الجزيئات هو حجمها وشكلها. أغشية الترشيح الفائق لها فتحات أقل في الأحجام من أغشية التناضح العكسي وليس لها شكل محدد بل هي فتحات بين أنسجة البوليمر حيث يمكن حجز جزء صغير من المياه. أغشية الترشيح الفائق لا تحتجز المواد للمذابة. مجال الوزن الجزيئي للترشيح الفائق هو من ٧٠٠٠٠ الي ٧ جوي باستخدام طلمبة الطرد المركزي.

تصنع أغشية الترشيح الفائق من أسيئات السليلوز (CA) أو الأكليرك وبعض البلمرات الأخرى مثل لايولي فينيل كلوريد أو البولي أميدز. الخ وشكل الغشاء مشابه لغشاء التناضح العكسي (RO) ويشمل الأسطوانتي، اللوح والإطار، الحلزوني، الشعيرات الجوفاء.

استخدم الترشيح الفائق للمعالجة المسبقة لمياه البحر قبل التحلية بالتناضح العكسي لإزالة الكربون العضوي (TOC)، العكارة والمواد العالقة من مياه الصرف المعالجة قبل إعادة الإستخدام أو للحقن الجوفي. التناضح العكسي (RO) يزيل معظم المواد العضوية، البكتريا، الجسيمات من الماء وكذلك إزالة الملوثات الغير

---

الباب السابع: تحلية المياه المالحة  
عضوية بنسبة ٦٠ - ٩٩ % طبقاً لنوعية الملوثات والغشاء المستخدم. أما E D R / فإنها تقلل الأملاح المذابة ولكنها تترك كل المواد الغير متأيئة (Nonionic) في المياه المنتجة.

٢- النانو فلتر (Nano filtration - NF) وهي أغشية تستخدم لإزالة العسر، البكتريا والفيروسات، للمواد العضوية ذات العلاقة باللون بدون إنتاج ملوثات عضوية مثل الهيدروكربونات المكلورة. وتستخدم هذه الطريقة في المياه ذات الأملاح المذابة المنخفضة لإزالة العسر والمواد العضوية.



## القسم الخامس

### التحلية الحرارية للمياه المالحة Thermal Desalination

بالإضافة إلى طرق التحلية باستخدام نظم الأغشية مثل عمليات التناضح العكسي والإليكترودياليميس والترشيح الغائق فإنه يمكن استخدام الطاقة الحرارية لتحلية المياه المالحة وذلك بتحويلها إلى بخار الماء ثم تكثيفها أو بعمليات التجميد (Freezing) أو إنتاج البخار بفعل أشعة الشمس.

#### ١- التحلية الحرارية بتحويل المياه المالحة إلى بخار الماء :

##### Desalination by Distillation

نظام التحلية المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للشرب هو بالتقطير الحراري. في هذه العملية يتم غلي الماء المالحة للحصول على بخار المياه نقية وسائل متبقى به أملاح مركزه، حيث يتم تكثيف الأبخرة واستخدامها لأغراض الشرب. ولتحقيق الإقتصاد في الطاقة الحرارية المستخدمة يستخدم النظام متعدد التأثير (Multi Effect System)، حيث تدفع أبخرة المياه النقية المنتجة في المرحلة الأولى لغلي الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانية. في هذه المرحلة الثانية عندما يتكثف بخار الماء عندئذ تنطلق الطاقة الحرارية التي تكفي لتحويل المياه المالحة إلى بخار ماء. وباستخدام هذه العملية يمكن إنتاج رطل من المياه المحلاة باستخدام وحدة طاقة حرارية (IBTU/lb of water).

عند استخدام هذا النظام يجب أن يؤخذ في الاعتبار القواعد التطبيقية التي تؤثر على الكفاءة، ومنها عملية الانتقال الحرارى والتي تتوقف على مساحة الانتقال الحرارى ومعامل الانتقال للحرارى. معامل الانتقال الحرارى يتوقف على الفرق فى درجات الحرارة بين السائل الباعث للحرارة والسائل الممتص للحرارة والشكل الهندسى ومساحة ونوع مادة الانتقال الحرارى. لذلك فعند زيادة المساحة ورأو معامل الانتقال الحرارى يزداد معدل الانتقال الحرارى. ونظراً لأن زيادة المساحة تعنى زيادة فى حجم المعدات المستخدمة، لذلك يكون الهدف هو زيادة معامل الانتقال الحرارى.

العامل الآخر هو التخلص من الملوثات فى مياه البحر والتي تؤثر على الانتقال الحرارى. فمياه البحر مخلوط معقد من المواد المذابة الصلبة والغازات والكائنات البحرية. المواد الصلبة المذابة تشكل خطورة فى عملية التقطير نظراً لأن بعضها يرسب على سطح الانتقال الحرارى (Scaling)، كما أن الكائنات البحرية يمكن أن تسبب عزل على أسطح الانتقال الحرارية مكونة ترسبات عضوية (Fouling). لهذا فإنه يلزم المعالجة المسبقة لمياه البحر فى حالة استخدامها لإزالة وتحييد الأثر السلبى لهذه العوامل.

تستخدم التحلية الحرارية بتقطير المياه المالحة ذات الملوحة العالية ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون.

الأنواع الرئيسية للثلاث لتبخير المياه المالحة ذات الملوحة ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون (الملوحة العالية) هي:

المبخر السريع متعدد المراحل: (MSF) Multistage Flash Evaporator;  
المبخر متعدد للتأثير: (ME) Multiple Effect Evaporator; المبخر بإعادة ضغط البخار: (VR) Vapour Recompression Evap

## ١- المبخر السريع متعدد المراحل : (Multistage Flash Evaporator) (MSF)

يوضح الشكل (١٤٨ - أ) مبادئ عمل المبخر السريع متعدد المراحل في إزالة الملوحة.

يتم ضخ مياه البحر خلال عدد متتالي من المبادلات الحرارية حيث تتدرج حرارتها في الارتفاع، بتكثيف البخار الناتج في غرف التبخر السريع المقابلة (Flash Chambers) إلى درجة حرارة ٨٠ - ١١٠ م. وبعد التسخين التالي السلي درجة حرارة ٩٠ - ١٢٠ م بواسطة مصدر بخار خارجي، فإن مياه البحر تتحرر من الضغط (Flashed) بالتالي خلال عدد من المراحل حيث ينخفض ضغط البخار بالتدريج إلى ١٠ كيلو بار. يحدث غليان وتبخير جزئي في كل مرحلة، البخار الذي يتكثف على المبادل الحراري المقابل والذي يتجمع في قنوات كمياه مقطرة، وهذا البخار يستمر إنتاجه في كل مرحلة بالتوازي مع المياه المالحة (Brine) وذلك حتى إنتاج كلا من المياه المقطرة والمياه المالحة من آخر مرحلة عند درجة حرارة حوالي ٤٠ م. تجهز غرف التبخير السريع لتخفيف الضغط (Vacuum) باستخدام باثق البخار (Steam Ejectors) للمحافظة على استمرار الانخفاض المطلوب في الضغط خلال المبخر. المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) يتطلب في تصميمه نسبة عالية من مياه البحر لكل وحدة من المياه المقطرة والتي قد تصل إلى ٨ : ١٠. ولهذا السبب فإن طاقة الضخ المطلوبة تكون كذلك عالية حيث تصل إلى ٣-٥ كيلوات ساعة / متر المكعب من المياه المقطرة.

## ٢- المبخر متعدد التأثير : (Multiple Effect Evaporator) (M E)

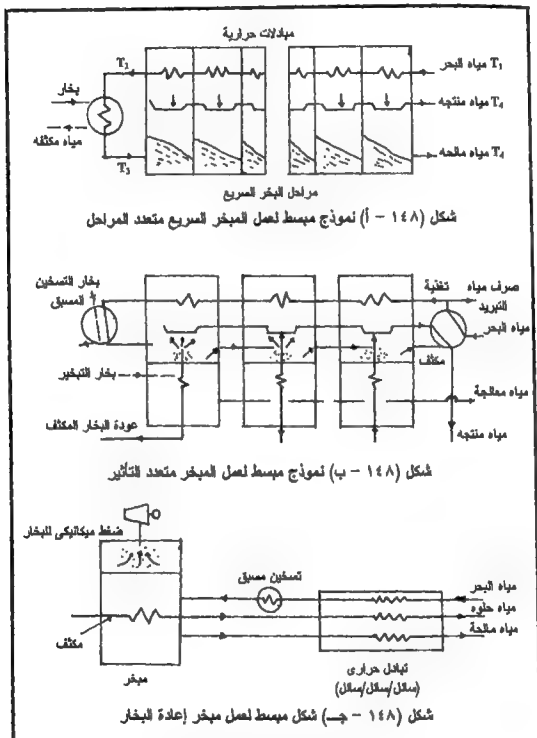
طريقة العمل للمبخر متعدد التأثير موضحة في الشكل (١٤٨ - ب) مياه البحر يتم تسخينها بالتدرج بطريقة المبادلات الحرارية بواسطة تكثيف البخار من عدد مساو من غرف التبخير. مياه البحر التي تم تسخينها تدخل غرف التبخير الأكثر سخونة عند درجة حرارة ما بين ٦٠ - ١٠٠ م عادة ثم تبخر جزئياً بواسطة بخار

من مصدر خارجي. البخار الناتج يمر الي للمؤثر التالي بعد سحب البخار المكثف (المستخدم في التسخين المسبق). في نفس الوقت فان مياه البحر التي لم تتبخر من المؤثر الأول ينفع (Flashed) الي المؤثر الثاني، وينخفض درجة حرارته تحت تأثير مكثف التبريد بمياه البحر بعد المؤثر الأخير. يحدث تبخير آخر في المؤثر الثاني ما بين البخار الداخل والمياه للمالحة المحررة من الضغط (Flashed Brine) ثم يكرر العمل في كل من المؤثرات التالية والتي يصل عددها الي ٢٠ أو أقل من ١٠، وذلك قبل تكثيف بخار آخر مؤثر وسحب المياه المالحة (المركزة).

طاقة الضخ اللازمة للمبخر المتعدد التأثير (ME) أصغر من تلك اللازمة لمتعدد المراحل (MSF) وهي عادة ما بين ٢ - ٣ كيلو وات سعة / المتر المكعب.

### ٣- مبخر إعادة ضغط البخار: {Vapour Recompression Evap} (VR)

طريقة عمل مبخر إعادة الضغط (VR) موضحة في الشكل (١٥٠). يتم تسخين مياه البحر بالتبادل الحراري مع المياه المقطرة والمياه المالحة المركزة للصرف وذلك في واحد أو أكثر من المبادلات الحرارية الي درجة حرارة من ٦٠ الي ١٠٠م. ولغرض البدء في التشغيل والمحافظة علي ظروف التشغيل العادية تعد بعض المحطات بمخان لعمل التسخين المسبق للمياه وذلك للحصول علي درجة الغليان المطلوبة في المبخر، وفي أبسط صورة يكون هذا السخان ذو مرحلة التأثير الواحدة أو الأكثر من مرحلة (Single Effect Or More) البخار الناتج من المبخر يتم ضغطه أما ميكانيكيا أو بالضغط الحراري (Thermo Compression) وذلك قبل العودة الي التكثيف للبخار في المبادل الحراري. عملية الضغط تعمل علي رفع ضغط التشبع لبخار الماء، وهذا يوجد فرق في الحرارة مستمر بين المياه المكثفة والمياه المالحة (Brine) وهذا يعمل علي استمرار عملية التبخير. البخار المكثف (المقطر) والمياه المالحة الزائدة يتم صرفهم خلال مبادلات حرارية (سائل / سائل) ولا توجد حاجة الي مكثف منفصل.



شكل (١٤٨) الأنواع الرئيسية لأجهزة التحلية بالتبخير

## إزالة الترسبات : (Scale Removal)

كل المياه المالحة تحتوي علي كل من العسر المؤقت والعسر المستديم وذلك لوجود أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والبيكربونات والكبريتات.

عند تسخين مياه البحر، تتحلل البيكربونات وتتكون كربونات الكالسيوم كراسب (Scale) وهي عسر مؤقت علي أسطح التسخين. وفي حالة عدم إجراء منع ترسيبها فإن كفاءة الانتقال الحراري تنخفض، بما ينتج عنه خفض في إنتاج المياه المقطرة وفي الحالات الشديدة يمكن حجز تنفق المياه. أما للرواسب من كبريتات الكالسيوم (العسر المستديم) علي الجانب الآخر هي ببساطة نتيجة خفض الأزابة لكبريتات الكالسيوم ( $\text{CaSO}_4$ ) بالحرارة. يمكن تجنب ترسيب كبريتات الكالسيوم العسر المستديم في التصميم والتشغيل بعدم تعدي حد الإزابة للأشكال المختلفة لبلورات كبريتات الكالسيوم (كبريتات الكالسيوم قليلة الذوبان في الماء في حدود ١-٢ مليجرام / لتر). أما عن ترسيب الكربونات فإنه يلزم إتخاذ إجراءات إيجابية لمنع حدوثها أو علي الأقل خفض مستواها الي الحد الذي يمنع حدوث الترسبات.

أ- ترسيبات كبريتات الكالسيوم : ( $\text{CaSO}_4$  Scales)

حدود الأزابة لكبريتات الكالسيوم هي دلالة لدرجة الحرارة والتركيز وذلك بالنسبة لمياه البحر ذات الملوحة للقياسية (٣٥٠٠٠ مليجرام / لتر). فقد لوحظ أن مع تركيز مياه البحر عند درجة حرارة لإنتاج البخار ١٠٠°م ويحدث تشبع للمياه المالحة بالنسبة لكبريتات الكالسيوم اللامائية ( $\text{CaSO}_4$ ) وذلك عند زيادة الملوحة عن ٤٥٠٠٠ ملجم / لتر. يمكن تجنب حالة التشبع هذه (Super Saturation) وهذا يتم عادة بالحد من تركيز المياه المركزة المالحة للصرف لتكون أقل من ٦٠٠٠٠ مليجرام / لتر (أملاح كلية مذابة) في حالة المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) حيث يحدث تعدي لهذه النسبة نظرا لحالات تدوير المياه المالحة، ويتم الاعتماد علي بطني ترسيب بلورات كربونات الكالسيوم في تجنب ترسيبها. كما يمكن البدء بإضافات لتجنب الترسب مثل إضافة صوديوم هكسا فوسفيت  $\text{Soduim Hexa}$

Meta Phosphate  $\text{Na}_6(\text{PO}_4)_3$  ولكن في معظم الحالات يمكن عدم اللجوء الي هذه الإضافات بالنسبة لترسيبات الكبريتات طالما أمكن التحكم في ظروف التبخر بما لا يتعدى حدود الإذابة. كبريتات الكالسيوم بمجرد تكوينها كترسيبات فإنه يصعب إزالتها من الناحية العملية.

### ب- الترسيبات القلوية : Alkaline Scales

يمكن أن يرسب كلا من كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنيسيوم في مخبرات تحلية مياه البحر وترسيب كربونات الكالسيوم نتيجة تحلل (Decomposition) البيكربونات أما ترسيب أيدروكسيد المغنيسيوم فهو نتيجة تميؤ (Hydrolysis) للكربونات



### إزالة الكربونات من المياه الداخلة (Decarbonation of Feed)

#### (١) في عملية إزالة الكربونات من المياه المالحة قبل التحلية :

في هذه العملية يتم حقن الحامض الي مياه البحر بالتركيز الذي يمكن من تحلل ما لا يقل عن ٩٠% من البيكربونات الموجودة عادة في مياه البحر إلى حد ١٤٠ - ١٥٠ ملجرام / لتر ويتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون  $\text{2HCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{2H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{SO}_4$  في برج تهوية وقد تستخدم أحماض أخرى مثل حامض الهيدروكلوريك وحامض السلفاميك (Sulphamic) أو حتى حامض النيتريك ولكن يفضل حامض الكبريتيك لرخص سعره نسبيا. ولتفكك ٩٠% من البيكربونات فسي مياه البحر فإن جرعة حامض الكبريتيك اللازمة هي حوالي ١١٠ ملجرام / لتر من مياه البحر (مقيم ٩٨ % حامض الكبريتيك). يجب ملاحظة أن إضافة هذا الحامض سيعمل أولا علي خفض الرقم الهيدروجيني من ٨ إلي ٤,٥ - ٥، يلي ذلك ارتفاع الرقم الهيدروجيني الي ٦,٥ مع التخلص من ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك اتجاه

نحو عدم استخدام حامض الكبريتيك للمحافظة علي مواد المبخرات من التآكل ولكن علي الجانب الآخر فإن إزالة الكربونات هي الوسائل الإيجابية الوحيدة لتجنب ترسيب القلويات.

## (٢) المعالجات الأولية (Threshold Treatments)

البديل لإزالة الكربونات بواسطة الحامض هو الحقن بمثبط الترسيبات (Scale Inhibitors) للمياه الداخلة للتحلية، عادة بتركيز من ٢ - ١٠ ملجرام / لتر وعمل هذه المثبطات هي تشويه بلورات الكربونات الي درجة تكون حمأة لينة فقط (Soft Sludge) وذلك بدلا من الترسيبات الصلبة (Hard Scales) وهذه الحمأة اللينة يتم صرفها مع مياه البحر المركزة. حتى عام ١٩٧٠ كان افضل مثبط في حالة مياه البحر هو صوديوم تري بولي فوسفيت ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) وكان يستخدم عادة كحقن اختراع (Patented) محتويا علي اللجنين ومواد ضد وجود الرغوة (Anti Foaming) وكان مثل هذه المركبات مادة (HA Gevap) لها حدود استخدام حتى ٩٠م نظرا لتحللها الي الأورثوفوسفيت ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). عند ارتفاع درجة عن ٩٠م. ثم تم تطوير إضافات أخرى من البلمرات كميثبطات والتي تسمح بدرجة حرارة حتى ١١٠م أو أكثر عند استخدامها. وهذه عادة بلمرات عضوية حامضية مثل (Polymaleic Acid) وحاليا توجد أنواع كثيرة من المركبات منها (Belgrade E V -) (Ciba Geigy)، (Al BRIVAPDSB)، (Flocon247 من Pfizer) وهذه من أفضل الأنواع. وعموما مهما كان نوع المثبط المستخدم، فإنه يلزم إزالة الترسيبات من المبخر باستخدام جرعة حامض مع مياه البحر علي الأقل مرة كل عام. وعادة فإنه يستخدم الحامض والإضافة كميثبطات مع بعضهما.

## ٣- المعالجة النهائية للمياه المقطرة : (Distillate Post Treatment)

كل المياه المنتجة من عمليات التبخير تحتوي عادة علي ١٠-٥٠ ملجرام في اللتر من الأملاح الذابة كما إنها منخفضة العسر ومنخفضة الرقم الهيدروجيني. ولهذا فإنها مياه عذوانية لمواد الإنشاء وبخاصة الخرسانة. وكذلك هي ليست مقبولة



كمياه الشرب. والغرض من المعالجة النهائية هو رفع الرقم الهيدروجيني إلى ٧ - ٨، عسر الكالسيوم الي ١٠٠ ملليجرام / لتر ككربونات كالسيوم وكذلك توفير التهوية الكافية والمواد المذابة من كلوريد الصوديوم وكذلك التخلص من المذاق الغير مقبول المرتبط بالمياه المقطرة. وتوجد وسائل مختلفة للحصول علي المياه المناسبة للشرب. ولكن كلها تشمل إضافة أيونات الكالسيوم والبيكربونات. في المحطات الصغيرة حتي ٥٠٠ م<sup>٣</sup> في اليوم يكون من المقبول إضافة كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم ولكن تكاليف الكيماويات تكون مرتفعة في المحطات الكبيرة وفي هذه الحالة يمكن استخدام نوعين من المعالجة.

#### أ - الحقن بلبن الجير - ثاني أكسيد الكربون : (Lime - CO<sub>2</sub> Dosing)

وخلاصة المعالجة بهذه الطريقة كالآتي:

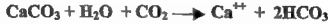


يتم إذابة ثاني أكسيد الكربون تحت الضغط في المياه المقطرة، يخفض الرقم الهيدروجيني (لتكوين حامض الكربونيك)، ثم يضاف مستحلب لبن الجير مع الخلط حتى الوصول إلى العسر المطلوب. يرفع الرقم الهيدروجيني الي ٧ ولكن يمكن زيادته عن ذلك بإضافة الصودا للكاوية في حالة الرغبة في هذا. في حالة عدم إمكان الحصول علي ثاني أكسيد الكربون من الإنتاج للصناعي. (الغازات الصناعية) فإنه ينتج عادة من حرق للزيوت (Hydrocarbon Oil) أو الغاز الطبيعي في مولد خاص ثم تنقية الغاز بالكيماويات.

#### ب- المعالجة بالجير - ثاني أكسيد الكربون :

##### (Limestone - Co<sub>2</sub> Treatment)

في هذه العملية فان المياه المكرينة (Carbonated Water) تضخ خلال حبيبات الحجر الجيري.



وفي هذه العملية متطلبات ثاني أكسيد الكربون أقل من الطريقة السابقة بالإضافة الي عدم إنتاج وضخ مستحلب لبن الجير.. بعض البدائل تستخدم الحجر الجيري من نوع (Dolomitic Limestone)، حيث يضاف كلا من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم إلى المياه المقطرة، وقريبا ثم اللجوء علي طريقة لاستعادة ثاني أكسيد الكربون الناتج من تحلل البيكربونات الموجودة في مياه البحر في مراحل درجات الحرارة المرتفعة لحقن الإضافات في المبخر السريع متعدد المراحل (MSF).

#### المعالجة النهائية لإعداد المياه المحلاة للشرب:

لإعداد المياه للشرب فإن المياه التي تم ضبط عسرها ورقمها الهيدروجيني يتم كلورتها. وفي بعض الحالات يتم إضافة كمية قليلة من مياه البحر المكثورة لزيادة تركيز كلوريد الصوديوم الي المستوي المفضل للاستهلاك.

#### التحلية بتحويل المياه إلى الجليد (تجميد) :

##### Desalination by Freezing

الحصول على المياه النقية من المياه للمالحة باستخدام الحرارة يمكن كذلك تحقيقه باستخدام التبريد وبالتحديد التجميد. تجميد المياه المالحة ينتج عنه بللورات نقية من الثلج من بين المحلول الملحي إزالة هذه البللورات الثلجية وإعادة ذوبانها ينتج عنه مياه خالية من الأملاح. مقارنة باستخدام الحرارة فإن عملية التجمد لها مميزاتها وعيوبها. من بين هذه المميزات هي الطاقة الحرارية الصغيرة المطلوبة. الطاقة الحرارية اللازمة للإزابة (Latent heat of Fusion) تعادل ٧/١ من الطاقة الحرارية اللازمة للبخر. كما يمكن من خفض التكلفة عند استخدام عملية التجمد في درجة حرارة منخفضة. ولكن تكاليف الوحدات الحرارية في التبريد أكبر كثيراً عن المستخدمة في التسييق، بما يتطلب رفع كفاءة العملية. توجد خاصيتين تتميز بهما

عملية التبريد وهما الآثار التي تسببها ارتفاع درجة حرارة المياه للمالحة على مواد البناء مثل المعادن من الصلب أو الخرسانة مثل للتآكل والتلف وهذه الآثار تنخفض بدرجة كبيرة في حالة درجة حرارة التجمد. وهذا يخفض من تكاليف المواد المستخدمة في الخزانات والمعدات. هذا بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى التوقف وذلك لعدم حدوث ترميمات على أسطح التبادل الحرارى.

يعتبر التبادل الحرارى خلال الأسطح ذو أهمية خاصة في عمليات التحلية المختلفة. تحقيق معامل إنتقال حرارى عالى مكلف في عملية التبريد حتى التجمد الأداء الأولى للإنتقال الحرارى هو الإتصال المباشر للسوائل ذات درجات الحرارة المختلفة. يتجه ذلك، فإن عملية التجمد تحقق معامل إنتقال حرارى عالى، وبذلك تنخفض تكلفة التصميمات الهندسية اللازمة لزيادة معامل الانتقال الحرارى.

ولكن توجد سلبيات لعملية التجمد. يتم الحصول على المياه النقية في شكل ثلج، وفصل باللورات الثلج النقي تتطلب خطوة منفصلة.

الطاقة الحرارية لتحويل المياه إلى بللورات (Latent Heat of crystalization) ثلجية يمكن استخدامها في إذابة هذا الثلج. وهذا هو الجزء المقابل لحرارة التكثيف في عملية ضغط البخار المستخدم لتوفير الطاقة الحرارية للتبخير (تحويل المياه إلى بخار). كذلك نظام التجميد يحتاج إلى إنشاءات ضخمة لتكون متعددة المراحل ليتمكن إعادة استخدام الطاقة الحرارية الكامنة (Latent Heat) التي أدخلت في تغير حالة الماء. ذلك لأن عملية التجميد يجب أن تتم عند درجة حرارة ثابتة. أحد سلبيات الهامة، خصائص التجمد هو التخلص من المياه المالحة.

تحسين أداء العملية لزيادة تطبيقاتها العملية يتطلب (١) زيادة حجم اللورات الثلج لتسهيل فصلها وخفض الانمصاص بالمياه للمالحة عند زيادة المساحة السطحية، (٢) تحسين تداول اللورات الثلج (عموما بقطر ١م)، (٣) زيادة معدل التجمد. معظم هذه الاعتبارات مرتبطة بالعمليات المنفصلة (Patch Process).

## مبادئ التحلية بالتجمد :

عملية الفصل لبلورات الثلج من المحلول الملحي الذي تعرض لعملية تجميد تتوقف على خصائص حالة الاتزان التي تشمل المجال السائل والمجال الصلب، نوعية هذا النظام موضحة في مخطط المجال (Phase Diagram) شكل (١٤٩).

المادة A تمثل الماء، المادة B تمثل الملح. معظم الأملاح مثل كبريتات الصوديوم تكون (Eutectic) الحد الأدنى من الإزالية مع الماء. وهذه عموماً تمثل حالات معينة من التميؤ. في المخطط العام يكون هذا الحد الأدنى ممثلاً بالنقطة C. لأغراض إزالة الملوحة يؤخذ في الاعتبار الجزء من المخطط على اليسار، المنطقة ما بين ١٠٠% مياه نقية (A) والحد الأدنى (C) تمثل بعض من الإتحاد بين الملح والماء. عند أي مكونات كما في الحالة X ما بين الماء النقي A، C عند درجة حرارة t، خفض درجة الحرارة إلى t<sup>1</sup> سيسبب انفصال المحلول الملحي إلى مادتين وهما مركب نقي A (الثلج) زائد محلول ملحي ظهور الثلج يمثل ظاهرة التجمد للمياه النقية، طبقاً لقانون الرافعة فإن الكميات النسبية للثلج والمحلول الملحي الناتج عن التجمد إلى درجة حرارة t<sup>n</sup> تمثل بمقلوب بأطوال الخطوط من النقطة X<sup>n</sup> إلى خط التغيير في المجال AC، من النقطة X<sup>n</sup> إلى الخط الذي يمثل ١٠٠% ماء (A). إذا كانت درجة حرارة المحلول الملحي ذات مكونات X وانخفضت درجة حرارتها إلى t<sup>2</sup> عندئذٍ وطبقاً لقانون الرافعة، عند النقطة X<sup>2</sup> كمية أكبر من الثلج (مركب ١٠٠% ماء A) يكون أكثر) يمكن إنتاجه. وهذا يبين الخبرة المعروفة أن انخفاض درجة الحرارة ينتج تجمد (ثلج) أكثر.

## إستخدام المبردات : The Use of Refrigernts

يمكن استخدام الهيدروكربونات المسيلة Liquified Hydrocarbonates كمبردات بالإتصال المباشر مع المحلول الملحي. درجات حرارتها المنخفضة تساعد في تجمد المحلول الملحي. مثال لهذه المواد هو (n. butane). إزابتة في المياه المالحة ضعيف ودرجة غليانه عند الضغط الجوي هي تقريباً عند درجة تجمد مياه البحر.

ولذلك عند تبخرها، فإنها تساعد في زيادة تبريد المياه المالحة الجارية معالجتها. لها ميزة إضافية وهي السعر المنخفض، عند استعراض الكميات الفاقدة أثناء التجمد، ولهذا لاتضيف كثيرا لتكلفة المياه المنتجة. في نظام الألتصاق المباشر يتم خلط البيونتين المثلج مع مياه البحر. يحدث تبادل حراري، تتجمد المياه، ويسخن الهيدروكربون. يزال البيونتين كبخار يخفض الضغط على إنشاء الخلط. حرارة تحويل المياه إلى بلورات التي تنطلق عند تكون الثلج تساعد في تبخير البيونتين ولتحقيق كفاءة العملية بهدف زيادة تأثير التجميد بفعل تبخر البيونتين يستخدم ماء البحر الذي سبق تبريده (Prechilled). تزال بلورات الثلج المتكونة من مستحلب الثلج. الماء المالح في عמוד الفصل لفصل الثلج بتدفقات الغسيل العكسية Counter Current شكل (١٥٠-أ). المحلول الملحي الذي أمتز على سطح بلورات الثلج يزال بالغسيل باستخدام مياه نقية. عندئذ تزال بلورات الثلج في مكثف الإزابة (Melter Condenser) بتحولها إلى مستحلب مع المياه للنقية. في المنيب (Melter) بخار النيونتين عند مقابلته بلورات الثلج التي تذوب يصبح بارد (Chilled) نظرا لأن الثلج يمتص منه الحرارة اللازمة للإزابة. هذه المحافظة على تأثيرات التبريد تعتبر ظاهرة أساسية نحو إقتصاديات الجدوى للعملية. يستفاد كذلك بالمحلول الملحي الذي تم فصله من بلورات الثلج حيث يتم في المبادل الحراري حيث المياه المالحة المبردة تقوم بتبريد مياه البحر المعدة للتجميد بواسطة البيونتين السائل.

للحصول على نمو بلورات الثلج مع تجنب الكميات الكبيرة من البلورات الصغيرة، يتم العناية بالتصميم والتشكيل لوحدة التجميد. يقسم المجمد (Freezer) إلى أربع حجرات بواسطة بطاريات مثقبة. هذه التقسيمات تسمح بالتدفق البطيء لبلورات الثلج والمحلول الملحي لتتجه نحو جهاز فصل الثلج (Ice Decanter)، مع خفض التدفق المعاكس وعدم التعرف على اتجاه التسرب في غيبة هذه الحواجز. الحواجز المثقبة تمتد فقط فوق منسوب السائل بجزء صغير في جهاز التجميد. وهذا يمكن طبقة البيونتين السائل تغطي الأربع غرف والتدفق في الاتجاه المعاكس لحركة مخلوط الثلج والمحلول الملحي عند تحركه نحو جهاز الفصل (Decanter).

طبيعى عند التدفق المعاكس يتبخّر جزء من البيوتن. وهذا يخفض درجة حرارة المتبقى من المبرد، ومع تقدم التبخر سترال فى المقابل الحرارة طبقاً لمتطلبات حرارة للتبخّر. هذا الموقف يجب للعمل على تجنبه حيث سيزيد من تجمد المحلول الملحى فى إتجاه معاكس للتدفق. فى حالة حدوث ذلك ستكون هناك كميات كبيرة من البللورات الحبيبية فى منطقة دخول المياه المغذية لجهاز التجميد، وهذا عكس الموقف المطلوب. المطلوب هو الزيادة المضطردة فى معدل التبريد للمحلول الملحى مع تدفقه ببطئ نحو جهاز فصل الثلج مع نمو البللورات وزيادة كمية الثلج، فإن المحلول الملحى المتبقى سيزداد باضطراب محتواه من الملح المذاب، الخلية القريبة من جهاز الفصل ستصبح الأكثر تركيزاً وبالتالى تكون لها أدنى درجة تجمد بالتالى وبهدف تجنب حالات التبريد الزائد للمبرد (البيوتن) عند لقائه الأول مع المحلول الملحى الذى يدخل إلى المجمد (Freezer)، فإن درجة غليان (البيوتين) ترتفع باضطراب عند تدفقاته فى الإتجاه المعاكس. يحدث هذا بالإضافة القليلة بجزء من النفط (Naphtha - النافثا) إلى البيوتين. مع تدفق البيوتين من خلية إلى أخرى (فوق تقسيمات الخلية المتبقية) يزداد إضافتها بالنافثا أكثر وأكثر حتى آخر خلية ولكنها الأولى التى يدخل إليها المحلول الملحى. هذا الإرتفاع المضطرد فى درجة الغليان مادة التبريد يساعد فى المقابل على خفض درجة حرارتها فى التبريد مع أن عملية التبخير وما يصاحبها من التبريد خلال امتصاص حرارة التبخير تنخفض باضطراب.

مفتاح العملية هو التحكم فى درجة غليان البيوتين خلال الخلط بنسبة معلومة مع النافثا ذات درجة الغليان الأعلى. هذا يمكن حدوث التجمد الكافى فى الخلية الأولى حيث تدخل المياه المالحة إلى المجمد لإنتاج أدنى مساحة سطحية من البللورات فى شكل بللورات حبيبية صغيرة. مع تحرك هذه ببطئ خلال القواطع المتبقية إلى الخلية إلى الناحية الثابتة حتى جهاز فصل الثلج فإنها تقابل طبقة من المبرد الأكثر برودة، حيث البيوتين ذو درجة حرارة الغليان المنخفضة المحتوى على نسبة نافثا قليلة المحلول الملحى الآن أكثر تركيزاً نظراً لفقد المياه خلال تكون الثلج، وبالتالى له درجة منخفضة، حيث المبرد ذو درجة الحرارة المنخفضة يساعد

نمو بلورات الثلج هذه العملية يتم تكرارها بالتتالي في الخليتين للتأليتين، مع خفض المضطرب للنافتا وخفض درجة غليان للمدد، مع زيادة حجم وكمية الثلج وتركيز المياه المالحة. للنتيجة المطلوبة بالخفض المضطرب لدرجات الحرارة للخلايا التالية، هو زيادة وزن وحجم قطع الثلج في حدة الحجم لجهاز التجميد.

الجنوى الاقتصادية لهذه العملية تتطلب أقصى إستفادة للبيوتين والنافتا تدوير محلول البيوتين - النافتا بصمم لتغذية الخلايا حيث درجة حرارة لتجمد تتطلب تحسين تأثيرات النافتا وبالتحديد تلك الخلايا الأقرب إلى جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) وتلك المحتوية على أقصى تركيز للمياه المالحة (Brine) ولذلك تحتاج إلى أبرد مبرد (Coldest Refrigerant). في كل خلية يدخل المبرد خلال رشاشات (Spargers) عند لقاع هذا يساعد على خلط المحتوى خلال أداء الفقاعات، وبهذا يتوفر للتقليب اللازم للتأثيرات الجيدة للانتقال الحرارى.

بعد إزالة البيوتين بالضخ، يضخ الثلج في شكل مخلوط من الثلج والماء المالح إلى جهاز فصل الثلج حيث يتم فصل الثلج من المحلول الملحي. (يتم تدوير المحلول الملحي أو التخلص منه طبقاً للحاجة). يتم بعد ذلك غسيل الثلج من المياه المالحة العالقة (يتم تدوير مياه الغسيل) ودفعه في شكل مستحلب ثلجي من المياه النقية إلى المذيب (Melter) لتحويله إلى مياه نقية منتجة.

### عملية التجميد بالضغط : Pressure Freezing Process

قام إثنان من الصينيين فى تايلوان بتصميم عملية جديدة للتحلية. وهذه تتوقف على الخاصية الفريدة للماء بالتمدد والتجمد طبقاً لقاعدة لوشالتليير، ينوب الثلج عند تعرضه للضغط. بمعنى آخر عند ضغط واحد جوى تنخفض درجة التجمد للثلج  $^{\circ}\text{C}$  ٠,٠١. معظم المواد لها درجة تجمد (أو إزابة) عند الضغوط العالية. الفرق بين سلوك الثلج والهيدروكربونات المجمدة تحت الضغط تعاون كأساس فسى تطوير التحلية بالتجميد.

عند تجميد هيدروكربون يغلى فى درجة حرارة مرتفعة وخطه مع مياه البحر الباردة ينتج خليط من الثلج، الهيدروكربون المجمد، مياه مالحة، وهيدروكربون سائل. يتم فصل الثلج من الخليج (Decanting) بعد إزالة الهيدروكربون المجمد، ثم غسيله من الملوحة الممتصة. كل ما سبق يتم فى الضغط الجوى بدلاً من الإزالة المباشر للثلج يتم خطه بسائل الهيدروكربون وتعرضه لضغط ٢٠٠٠ رطل/البوصة المربعة. يتجه لذلك يتجمد الهيدروكربون منتجاً حرارة التبخر وبذلك ترتفع درجة الحرارة ما بين ٢-٣°م يتم فصل المياه المنتجة من إزالة الثلج (Decnted) والمخلوط من الهيدروكربون الصلب - السائل يستخدم لتجميد ثلج أكثر من كمية أخرى من مياه البحر المبردة.

توجد فوائد كثيرة من هذه العملية. أولاً باستخدام هيدروكربون ذو درجة عليا ومرتفعة (٥٢٥٠) يقلل من المخاطر المصاحبة باستخدام مواد مثل البيوتين الذى له نقطة اشتعال منخفضة (Flash point). ثانياً لا يتطلب جهاز لضغط الغاز لاسالة الهيدروكربون ولا تجهيزه تغريغ لازالته بالتبخر. ولذلك يبدو أن الطاقة المستخدمة فى هذا النظام تكون منخفضة. هذا بالإضافة إلى تكون بلورات من الثلج كبيرة فى هذه العملية بما يخفض من تكاليف الغسيل. نظراً لأن معدل تكون البلورات الثلج العالى ولا توجد خطوة للتبخير فإن المعدات تحتاج إلى حجم صغير نسبياً. ولكن لها سلبياتها. عملية المضايقة فى فصل الثلج وتكلفتها وغسيل الثلج تكون مضاعفة فى هذه الطريقة. وكقاعدة فإن جدوى التحلية تتوقف على عوامل إقتصادية وليست على عوامل فنية فقط. ولذلك لتقدير جدوى التحلية بهذه الطريقة يلزم التقييم على أساس التجارب النصف صناعية.

### التبريد ببخار الماء : Refrigiration by Water Vapour

بدلاً من استخدام مواد التبريد بالاتصاق المباشر، استخدام بخار الماء نفسه لأحداث أثر للتجمد فى مياه البحر. يتم هذا بواسطة عملية (Zarchin Colt Process) للتجميد شكل (١٥٠ - ب).



تسخن مياه البحر الباردة إلى المجمد، حيث يتم خفض درجة حرارتها تحت نقطة التجمد للمياه النقية وتقريباً إلى درجة تجمد المياه المالحة. عند هذه النقطة، يستخدم تأثير التبخير بواسطة ضاغط لضخ بخار الماء من المجمد. أداء الامتصاص من هذا يسبب تكون بخار إضافي لتوفير الاتزان بين الماء والبخار، وبذلك فإن درجة حرارة التبخير المأخوذة من مياه البحر تسبب تجميدها. الوسيلة في هذه العملية هو الضاغط الغير مكلف. هذا ويعمل بمحرك ذو طاقة عالية ومناسب للضغوط ونسبة الانضغاط المطلوبة. الضغوط منخفضة قليلاً، ينتج ضغط جوى يساوى ٠,١٥ فقط عند نقطة تجمد مياه البحر تسمى هذه العملية (Lyphilization).

في عملية التحلية تنتج حبيبات البلورات التي تنمو حتى ٠,٥ ملليمتر في مدة من ٢٠ إلى ٦٠ دقيقة. وتفصل بواسطة جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) ثم يتم غسلها، وإزالتها... إلخ. في مرحلة الإذابة بخار الماء الذي يسحب خلال مانع للضباب (Demister) للتخلص من المحلول الملحي العالق، يقابل بلورات الثلج التبادل الحرارى الناتج يساعد ليس فقط في إذابة الثلج، ولكن كذلك في تكثيف البخار. وبذلك تزداد كمية المياه المنتجة. يتم ترشيد استخدام الطاقة في مراحل الأداء الهندسى ما بين مياه البحر والمياه اللقية الباردة المنتجة. ونقداً يساعد على خفض حرارة المياه المالحة قبل تبريدها وتجهيزها.

### امكانيات طرق التجميد :

بالنسبة للمياه ذات ملوحة ٣٠٠٠ جزء في المليون تعتبر عملية التجميد هي المفضلة لإزالة ملوحة المياه. عملية التجميد تحتاج إلى ضواغط وبعض المعدات والأجهزة لتنفيذ العملية. بينما التحلية بالتبخير والتقطير حيث المعدات المستخدمة مؤثرة منذ فترة طويلة ومألوفة، ولذلك فإن التحلية بالتجميد تحتاج إلى تطوير ودراية.

## التحلية باستخدام الطاقة الشمسية للتبخير:

### Desalination By Solar Evaporation

تعتبر الطاقة هي أكثر عناصر التكلفة في عمليات التحلية. ولذلك فإن استخدام الطاقة الشمسية يعتبر هاما واقتصاديا. الطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض في الأماكن حيث الأشعة الشمسية تصطدم مباشرة في معظمها (بزاوية طبيعية نحو سطح الأرض) يمكن أن تكون ١٠٠٠٠ وحدة حرارية في اليوم على القدم المربع (10000 BTU/ day / ft2). من الناحية العملية هذه القيمة تنخفض، حيث بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة الجو والسحب ... إلخ. ولذلك ففي المتوسط تكون قيمة للطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض ثم حسابها لتكون من ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ وحدة حرارية في اليوم / القدم المربع. ولذا وجد أن استخدام الطاقة الشمسية مشجع وخاصة في الأماكن حيث كثافة ضوء الشمس عالية.

الإضافة إلى مميزات استخدام الطاقة الشمسية فإن لتحلية لإنتاج البخار بالطاقة الشمسية يتطلب فقط معدات بسيطة.

نموذج لجهاز التحلية المنزلي في الشكل (١٥١) يبين إنتاجية رطل من المياه العذبة النقية في اليوم / القدم المربع من سطح الحوض.

تمتص الطاقة للشمسية على القاع الأسود للحوض الضحل الذي يحتوى على مياه البحر ترتفع أبخرة المياه لتتكثف على السطح الزجاجي أو من البلاستيك الذي يميل بما يسبب تدفق المياه المتجمعة إلى حوض التجمع نظراً لأن سطح التكتيف يعلو أحواض للتبخير فإنه يجب أن يكون شفاف ليسمح بمرور أشعة الشمس إلى القاع المغطى بطبقة سوداء، ولكن بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة سطح التكتيف، كما أن ارتفاع درجة الحرارة يبطئ بواسطة التبريد الجوى. يزداد الفقد للطاقة الساقطة بالأثرية والأجسام التي تعلق على الجزء العلوى لسطح التكتيف بما يستوجب النظافة باستخدام العمالة.

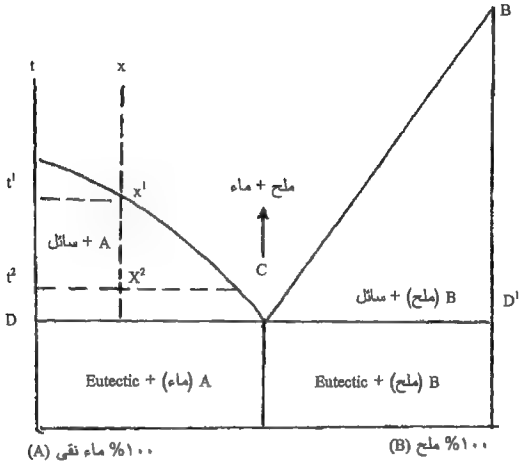
ثم عمل عدة تصميمات هندسية لزيادة كفاءة الحصول على الطاقة الشمسية وخاصة تخفيض الفقد نتيجة الانعكاس ولذلك استخدمت أسطح دائرية وكذلك أسطح دوارة، كما تمت محاولة للتسخين المسبق للمياه المالحة واستخدام جهاز التحلية متعدد التأثير (Multiple Effect).

في المناطق ذات المناخ الحار مثل شمال أفريقيا والهند يمكن تحقيق ٠,٤ إلى ٠,٨ جالون في اليوم / القدم المربع خلال العام. وهذا يعني أن الطاقة الحرارية التي تصل إلى الجهاز تكون في حدود ٥٠% من الطاقة الشمسية التي تصل إلى الجهاز. ولذا فإن الاعتبارات العملية قينت الوصول إلى قيم أعلا.

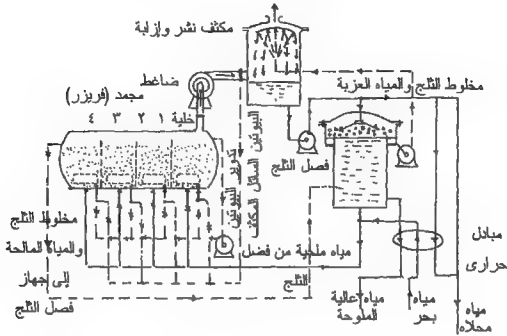
في اليونان أنشئ على مساحة ١٣٠٠٠٠ قدم مربع مساحة للتبخير قدرها ٩٣٠٠٠ قدم مربع هذه المساحة تتكون من خلجان مزدوجة ذات مساحة ١٠ قدم × ١٣١ قدم أحواض التقطير من الألومنيوم المبطن بالمطاط الأسود (Black Butyl Rubber) سطح المكثف من زجاج النولاذ بسمك أقل قليلاً من ٨/١ بوصة وبميل ٩١٢ نحو الجنوب. الأحواض ملئت بالمياه المالحة. المياه المركزة تزال من آن إلى آخر طبقاً لمعدل التبخير وهو أسبوعياً في الشتاء وكل يومين في الصيف. كانت الحصىلة ٢٧ جالون في العام / القدم المربع من المياه المقطرة، وهذا يعادل ٧٠٠٠ جالون في اليوم.

بفرض الإنتاج اليومي بمعدل ١٠٠٠ جالون يلزم من ٥٠٠٠ إلى ١٥٠٠٠ قدم مربع من سطح التبخير والتكثيف. وهذا يعني كبر حجم الجهاز بالإضافة إلى باقي المهمات والمعدات اللازمة.

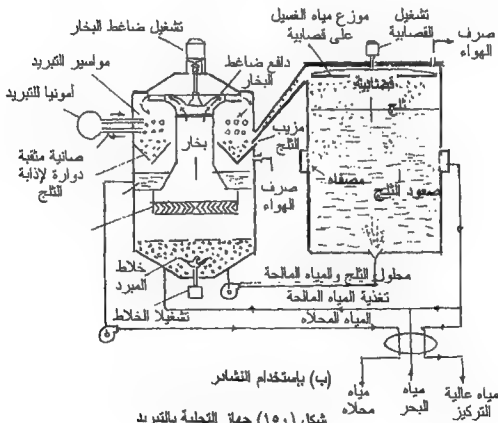
بالإختصار يبدو أن التحلية للمياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية تكون مناسبة لإنتاج عدة جالونات في اليوم وليس لعدة آلاف من الجالونات. بهذا يمكن خفض تكلفة المعدات واستغلال للطاقة الشمسية وتبدو مناسبة هذه الطريقة في المناطق الغير صناعية حيث تكاليف الطاقة مرتفعة كما أنها مناسبة لتلبية حاجات أسرة صغيرة.



شكل (١٤٩) مخطط الإتران بين الملح والماء عند التبريد Eutectic تعنى أدنى نقطة  
إقصار للمخلوط

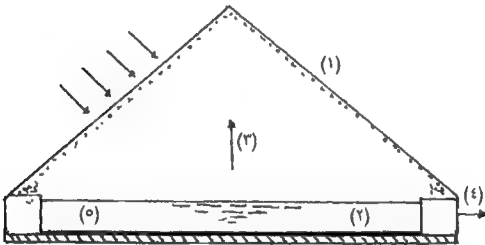
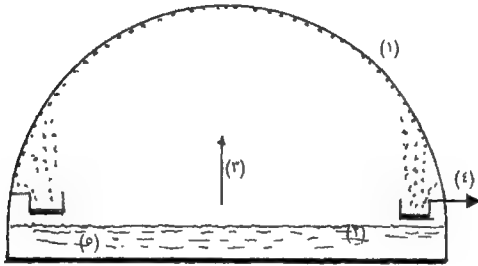


(أ) باستخدام الليوثين



(ب) باستخدام النشادر

شكل (١٥٠) جهاز التحلية بالتبريد



شكل (١٥١) نموذجين لجهاز صغير لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسية

(١) غطاء شفاف من الزجاج أو البلاستيك.

(٢) مياه مالحة.

(٣) بخار الماء للصاعد.

(٤) مياه محلاة.

(٥) سطح مغلى بطبقة دهان سوداء للإحتفاظ بحرارة الشمس ومن مادة لاتسيل ولا تلوث المياه.

## كفاءة نظم المعالجة المختلفة في إزالة مختلف أنواع الملوثات

يوضح الجدول التالي بيان الملوثات وعمليات المعالجة للمياه ومدى كفاءة الإزالة لهذه الملوثات.

وقد قسمت الملوثات الي ملوثات أولية وهذه لها معايير إجبارية لما لها من تأثير علي الصحة العامة. الملوثات للثانية وهي لها معايير ولكن ليست إجبارية لما لها من تأثير علي قابلية المياه للشرب والاستخدام المنزلي. أما الملوثات المقترحة فلها معايير مخططة مستقبلا. وتعرف كفاءة المعالجة طبقاً للمستويات التالية.

ممتازة حيث نسبة الإزالة ٩٠% - ١٠٠%.

جيدة حيث نسبة الإزالة ٦٠% - ٩٠%.

مقبولة حيث نسبة الإزالة ٢٠% - ٦٠%.

ضعيفة حيث نسبة الإزالة صفر - ٢٠%.

بعض الملوثات تعالج بنسب متفاوتة. وقد لا تحقق طريقة واحدة الإزالة للتلوث ولذلك يستخدم كثير من هذه الطرق معا للحصول علي إزالة مؤثرة للتلوث.

كفاءة تقنيات المعالجة المختلفة في إزالة الأنواع المختلفة من الملوثات:

ممتاز ( م ) حيث نسبة الإزالة من ٩٠ - ١٠٠%

جيد ( ج ) حيث نسبة الإزالة من ٦٠ - ٩٠%

متوسط ( س ) حيث نسبة الإزالة من ٢٠ - ٦٠%

ضعيف ( ض ) حيث نسبة الإزالة من صفر - ٢٠%

| المكونات  | التحلية | الترويب / الترسيب / الترشيح | التحليل الأيوني |        | صناعات الأغذية |                   | الأحماض العضوية / التانين | الأمصال        |                          |                        | إزالة العسر بالجير |                      |
|---|---------|-----------------------------|-----------------|--------|----------------|-------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
|   |         |                             | أيوني           | كتلوني | تناضح عكسي RO  | الترشيح العكسي UF |                           | البيكربونات/ED | حياتيات اللحم المنشط GAC | بوادة اللحم المنشط PAC |                    | ألو منيا المنشطة AAL |
|   |         |                             |                 |        |                |                   |                           |                |                          |                        |                    |                      |
| ١   | ٢       | ٣                           | ٤               | ٥      | ٦              | ٧                 | ٨                         | ٩              | ١٠                       | ١١                     | ١٢                 | ١٣                   |
| المكونات الأولية ( ذات التأثير على الصحة العامة ) |         |                             |                 |        |                |                   |                           |                |                          |                        |                    |                      |
| أ- الميكروبات والمكثرة                            |         |                             |                 |        |                |                   |                           |                |                          |                        |                    |                      |
| الكوليفورم الكلي                                  | ض       | ج-م                         | ج-م             | ض      | م              | م                 | -                         | م              | م                        | ض                      | م-ض                | م-ج                  |
| الجارديا لامبيا                                   | ض       | ج-م                         | ج-م             | ض      | م              | م                 | -                         | م              | م                        | ض                      | م-ض                | م-ج                  |
| الفيرسات  | ض       | ج-م                         | ج-م             | ض      | م              | م                 | -                         | م              | م                        | ض                      | م-ض                | م-ج                  |
| ليجيونيلا   | ض       | ج-م                         | ج-م             | ض      | م              | م                 | -                         | م              | م                        | ض                      | م-ض                | م-ج                  |
| المكثرة   | ض       | م                           | ج               | ض      | م              | م                 | -                         | م              | ض                        | ض                      | م-ض                | م                    |
| ب- الغير عضوية                                    |         |                             |                 |        |                |                   |                           |                |                          |                        |                    |                      |
| الزرنخ ثلاثي التكافؤ                              | ض       | م-ج                         | ج-م             | ض      | م-ج            | -                 | م-ج                       | ض              | م-ج                      | ض                      | م-ج                | م-ج                  |
| الزرنخ الخماسي التكافؤ                            | ض       | ج-م                         | ج-م             | ض      | ج-م            | -                 | ج-م                       | ض              | م-ج                      | ض                      | م-ج                | م-ج                  |
| الأسيتوس  | ض       | ج-م                         | -               | -      | -              | -                 | -                         | ض              | -                        | -                      | -                  | -                    |
| الباريوم  | ض       | ض                           | ض               | م      | م              | -                 | ج-م                       | ض              | ض                        | ض                      | ض                  | ج-م                  |
| الكاديوم  | ض       | ج-م                         | ض               | م      | م              | -                 | م                         | ض              | ض                        | ض                      | ض                  | م                    |
| الكروم ثلاثي التكافؤ                              | ض       | ج-م                         | ض               | م      | م              | -                 | م                         | ض              | م-ج                      | م                      | ض                  | ج-م                  |
| الكروم سداسي التكافؤ                              | ض       | م                           | ض               | ج-م    | -              | ج-م               | ض                         | م-ج            | م                        | ض                      | ض                  | ض                    |
| الميليند  | ض       | -                           | -               | ج      | -              | ج                 | ض                         | -              | -                        | -                      | -                  | -                    |
| الفلوريد  | ض       | م-ج                         | م-ض             | ض      | م              | -                 | م                         | ض              | ج-م                      | ض                      | م                  | ض                    |
| الرساوس   | ض       | م                           | ض               | م-ج    | م              | -                 | م                         | ض              | م-ج                      | ض                      | ض                  | م                    |
| زئبق غير عضوي                                     | ض       | م-ج                         | ض               | م-ج    | م-ج            | -                 | م-ج                       | م-ج            | م-ج                      | م                      | ض                  | م                    |
| النيتكل   | ض       | م-ج                         | ض               | م      | م              | -                 | م                         | ض              | م-ج                      | ض                      | ض                  | م-ج                  |
| النترات   | ض       | ج-م                         | ض               | ج      | -              | ج                 | ض                         | ض              | ض                        | ض                      | ض                  | م                    |
| النيتريت  | ض       | ج-م                         | ض               | ج      | -              | ج                 | ج-م                       | ض              | ض                        | ض                      | ض                  | ض                    |



431

| ٣ - ملوثات مقترحة (لوس لها معايير إجبارية) |     |     |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ١  | ٢   | ٣   | ٤ | ٥   | ٦   | ٧   | ٨   | ٩   | ١٠  | ١١  | ١٢  | ١٣  |
| Voc s                                      | ج-م | ض   | ض | م-س | م-س | م-س | م-س | ض-ج | م-س | ض-ج | ض   | ض-س |
| Soc s                                      | ض-س | ض-ج | ض | م-س | م-س | م-س | م-س | ض-ج | م-س | ض-ج | ض-ج | ض-س |
| نواتج التطهير -                            | ض-م | ض-س | ض | ض   | ض   | ض-ج | م-س | ض-ج | م-س | ض-ج | -   | ض-س |
| الرائحة                                    | ج-م | ض   | ض | ض   | ض   | ض   | ض   | م   | ض-س | ض   | ض   | ض   |
| البور البور                                | ض   | ض-م | م | م   | -   | م   | ض   | م   | ض-س | ج-س | -   | ج-م |
| الأومنيوم                                  | ض   | م   | ض | م   | -   | م   | ض   | -   | -   | -   | -   | م-ج |
| للفضلة                                     | م-ج | ج-م | ج | -   | -   | -   | ض   | م-ج | ض-ج | -   | -   | ض   |

## المراجع References

- 1- Water Treatment Plant design second Edition- McGraw-Hill-1994;
- 2- Water Treatment Handbook, 5<sup>th</sup> ed., Degrement, France, 1979;
- 3- Hand Book of water Resources And Pollution Control –Harry W-GAnd Jacob Bregman, 1979;
- 4- Douglas Considine, Chemical and Process Technology Encyclopedia, McGraw Hill, 1975;
- 5- Water conditioning and waste water treatment (BSP-Indian Publications);
- 6- Hand book of water purification-second edition-Walter Lorch-the Lorch foundation university of Buckingham;
- 7- Unit Treatment Processes In Water and Waste water Engineering— I.J.Casey Welly series in water resources Engineering I – J – Casey > Welly Series;
- 8- Publications of the world health organization (WHO) about guidelines of Drinking water;
- 9- Publications of the American water works Association (AWWA) about drinking water Science and Technology;
- 10- Water Lorch (The Lorch foundation) University of Buckingham- Hand book of Water Purification, Second ed., Ellis HORWood Limited Publisher;
- 11- I.W.Ellms, Water Purification, McGraw-Hill, Newyork, 1982;
- 12- J.W.Ellms, Water Purification, McGraw-Hill, Newyork, 1928;
- 13- W.L.Barham, J.L. Matherne, and A.G.Keller, Clarification, Sedimentation and Thickening Equipment – A Patent Review, Bulletin

- no.54, Engineering Experimental Station, Louisiana State University, Baton Rouge, La., 1956;
- 14- K.Kinosita, "Sedimentation in Tilted Vessels," J.Colloid. Sci., vol. 4, 1949;
- 15- H.O.Hartung, "Committee Report : Capacity and Loadings of Suspended Solids Contact Units." J.AWWA, vol.43, no. 4, April 1951;
- 16- R.Gregory and M. Hyde, The Effects of Baffles in Floc Blanket Clarifiers, TR 7, Water Research Center, Medmenham, United Kingdom, 1975;
- 17- V.S.Patwardham and Tien Chi, "Sedimentation and Liquid Fluidization of Solid Particles of Different Sizes and Densities," Chem. Eng. Sci., vol. 40, 1985;
- 18- K.M.Yao, "Theoretical Study of High-Rate Sedimentation," J.Water Pollut. Control Fed., vol. 42, 1970;
- 19- C.Matter-Muller et.al., "Transfer of Volatile Substances from water to the Atmosphere," Water Research, vol. 15, 1981;
- 20- L.J.Bilello and J.E.Singley, "Removal of Trihalomethanes by Packed-Column and Diffused Aeration," Journal AWWA, vol. 78, no. 2, Feb. 1986;
- 21- J.E.Crittenden et.al., An Evaluation of the Technical and Economic Feasibility of the Air Stripping Solvent Recovery Process, AWWA Research Foundation, Denver Colo., 1987;
- 22- P.V.Roberts and J.A.Levy, "Energy Requirements for Air Stripping Trihalomethanes," Journal AWWA, vol. 77, no. 4, April 1985;
- 23- J.A.Coyle et.al., Control of Volatile Organic Contamination in Groundwater by Inwell Aeration, USEPA, April 1988.
- 24- قانون البيئة ٩٤ / ٤
- 25- دراسات المجالس القومية للقومية المتخصصة شعبة البيئة







رقم الإيداع : ٢٠٠٢/١٦٤٤٤

**ISBN : 977-281-208-8**





مطابع الجدار المنجسية

تلفون/فاكس : ٥٤٠٢٥٩٨



## هذا الكتاب

لقد كان الدافع إلى تناول موضوع إنتاج المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي هو حاجة المكتبة العربية لمزيد من هذه الإصدارات لتواكب التقنيات الحديثة في مجال التصميم والصيانة والتشغيل ، وبما يفيد العاملين في هذا المجال وكذلك الدارسين والباحثين . وقد تم إعداد المرجع في سبعة أبواب :

- المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب
- والاستخدام المنزلي .
- تنقية المياه للشرب .
- طرق الترسيب للمواد الصلبة العالقة .
- التخلص من المواد العالقة بالترشيح .
- المعالجات الخاصة .
- تطهير المياه .
- تحلية المياه المالحة .

بهذا يكون تم مناقشة جميع التقنيات الخاصة بمعالجة المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي من مختلف مصادر المياه السطحية العذبة والجوفية والمالحة .

الله من وراء القصد ...

الناشر

Bibliotheca Alexandrina



0415493

ISBN: 977-281-208-8

قطاع الثقافة

**ACADEMIC BOOKSHOP**  
EGYPTIAN JOINT-STOCK CO. CAIRO 2002



٥٨٩٧٦